

PRODUÇÃO DE PEÇAS FINAIS EM MANUFATURA ADITIVA: UM ESTUDO DE CASO

Tiago Camargo Alves

Origem Motos - Brasília - DF, 70632-100
tiago.camargoalves@gmail.com

Gabriel Queiroz Gongora

Universidade de Brasília - Brasília, DF, 70910-900
qg.gongora@gmail.com

Alexandre Crepory Abbott de Oliveira

Universidade de Brasília - Brasília, DF, 70910-900
alex.crepory@gmail.com

Andrea Cristina dos Santos

Universidade de Brasília - Brasília, DF, 70910-900
andreasantos@unb.br

Resumo: A abordagem de engenharia simultânea e desenvolvimento integrado de produtos ainda são desafios tanto para as empresas quanto para formação de recursos humanos. Nos últimos 30 anos, o uso das tecnologias de manufatura passou da confecção de protótipos para fabricação de peças finais. A comunidade científica começou a explorar a Manufatura Aditiva para fornecer uma base de conhecimento para apoiar a prática profissional. No entanto o conhecimento atual ainda é fragmentado. As tecnologias de impressão tipo FDM (Fused Deposition Modeling) oferecidas para amadores, com o slogan “se você imaginar você pode fazer” não tem correspondido as expectativas. Mesmo para projetistas experientes, as vantagens reivindicadas não correspondem às suas experiências. Logo, as vantagens da utilização da manufatura aditiva, principalmente pela liberdade de forma oferecida, necessitam de uma mentalidade diferente quanto aos métodos de produção convencionais para alcançar os objetivos pretendidos. Este artigo busca contribuir com o corpo de conhecimento para o desenvolvimento de produtos utilizando a manufatura aditiva baseado na teoria de projeto heurístico. Por meio de uma parceria com uma startup foi desenvolvida uma sistemática de projeto para manufatura aditiva (DfAM – Design for Additive Manufacturing) que inclui as etapas de fabricação. Este artigo faz a análise do emprego desta sistemática de DfAM na fabricação de um conjunto de peças. Os resultados encontrados demonstram uma necessidade de uma forte integração entre a etapa de projeto das funcionalidades da peça com os estágios de fabricação. Logo, o escopo de atuação do DfAM, quando comparado ao DfMA (Design for Manufacturing e Assembly) é muito mais amplo. Para tanto exige um perfil de conhecimento técnico para obter os benefícios prometidos pela Manufatura Aditiva. Este artigo contribui no avanço da importância da teoria de projeto e princípios para capacidade de fabricação via manufatura aditiva.

Palavras-chave: Design for Additive Manufacturing; Manufatura Aditiva; Peças Finais.

1. INTRODUÇÃO

A atividade de desenvolver novos produtos necessita de planejamento, pesquisa, controle e uso de métodos sistemáticos, capazes de integrar e otimizar os diferentes aspectos envolvidos. O uso de modelos sistemáticos, apoiados por métodos e ferramentas, auxilia as equipes de projeto a resolver problemas, fornecendo ferramentas conceituais à equipe de desenvolvimento para organizarem o Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP) de maneira efetiva e eficiente.

O processo de desenvolvimento de produtos (PDP) é definido por Rozenfeld et al. (2006, p.3) por um conjunto de atividades por meio das quais busca-se a partir das necessidades de mercado e possibilidades e restrições tecnológicas, considerando as estratégias competitivas e do produto da empresa, chegar às especificações de projeto de produto e de seu processo de produção, para que a manufatura seja capaz de produzi-lo.

A abordagem de engenharia simultânea e desenvolvimento integrado de produtos para conduzir as atividades do PDP, sob as perspectivas de melhor fluxo das informações, melhor qualidade, menor tempo e menores custos de desenvolvimento, não são novidades na literatura. Contudo, ainda são desafios para as organizações e para a formação de novos projetistas e engenheiros. Muitos tendem ao processo de desenvolvimento sequencial no qual a opinião da produção é ouvida somente na fase de lançamento do produto ou de testes iniciais, ou seja, quando o processo de projeto já se encontra encerrado. Por outro lado, nos últimos 30 anos, o uso das tecnologias de Manufatura Aditiva (MA) passou por

transformações. Iniciou com aplicações para produção de protótipos, e hoje, a tecnologia passa a configurar como uma opção para produção de peças de produtos acabados (Thompson et al., 2016).

O processo de desenvolvimento de produtos utilizando a manufatura aditiva é um campo crescente de pesquisa. Ao longo dos últimos anos, a comunidade científica começou a explorar este tópico para fornecer uma base para apoiar a prática profissional. Observa-se, contudo, que o conhecimento atual ainda é bastante fragmentado. Ademais, as tecnologias de impressão 3D tipo FDM (*Fused Deposition Modeling*) oferecidas para amadores, com o slogan “se você imaginar você pode fazer” não tem correspondido as expectativas. Mesmo para projetistas experientes, as vantagens reivindicadas não correspondem às suas experiências. Logo, as vantagens da utilização da manufatura aditiva, principalmente pela liberdade de forma oferecida, necessitam de uma mentalidade diferente quanto aos métodos de produção convencional para alcançar os objetivos pretendidos.

Logo, este artigo busca contribuir com o corpo de conhecimento para o desenvolvimento de produtos utilizando a manufatura aditiva, baseado na teoria de projeto heurístico: no qual são construídas diretrizes dependentes do contexto que suportam o processo de projeto aumentando as chances de alcançar rápida e eficientemente uma solução satisfatória, mas não necessariamente ótima. As heurísticas de design geralmente não são explicitamente validadas, mas baseadas na intuição, conhecimento tácito ou compreensão experiencial (Daly et al., 2012).

Neste contexto, o Laboratório de Aberto de Brasília (LAB) da UnB tem atuado na orientação da seleção de processos e a otimização do projeto para a Manufatura Aditiva mais econômica. Com o propósito de partir da perspectiva do projetista (designers, engenheiros e outros profissionais) desafiá-los aos preconceitos de que “qualquer coisa pode ser produzida” usando MA, ao mesmo tempo em que convencemos de que MA pode ser uma opção de fabricação economicamente viável quando aplicada adequadamente.

Esta pesquisa está sendo desenvolvida por meio de uma parceria com a empresa Origem Motos Elétricas e o Laboratório Aberto de Brasília (LAB) da Faculdade da Tecnologia da Universidade de Brasília. A sistemática de Projeto para Manufatura Aditiva (DfAM – *Design for Additive Manufacturing*) vem sendo desenvolvida com a Startup desde 2018. A primeira etapa deste artigo consistiu em apresentar a fundamentação teórica da sistemática de projeto para Manufatura Aditiva proposta por Alves (2021). A segunda parte apresenta os principais resultados com o uso da tecnologia FDM para produção de peças. Ao final apresenta-se as principais considerações finais do trabalho.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A manufatura aditiva pode ser compreendida como um novo tipo de indústria que utiliza máquinas controladas por computador para transformar diretamente projetos digitais do computador em produtos físicos. Isso inclui as tecnologias que utilizam métodos de deposição de materiais para o desenvolvimento de estruturas de duas ou três dimensões (Volpato, 2017).

Geralmente compreende-se o DfAM pelo “Ciclo Digital” da MA, iniciando com a criação de modelo 3D, com uma abordagem tradicional em CAD (*Computer Aided Design*), em que são então realizados ajustes na conversão dos arquivos no formato SLT (*Standard Triangle Language*) e nos parâmetros de configuração do equipamento de impressão. Contudo, este escopo não é suficiente para produzir peças produzidas por MA.

Contudo, para projetar e produzir peças utilizando as tecnologias de MA é necessário compreender o escopo do DfAM e suas diferentes tipologias, apresentadas no Quadro 1. Observa-se no Quadro 1 que o escopo de atuação do DfAM tem sido mais abrangente quando comparado as abordagens tradicionais de DfMA (*Design for Manufacturing Assembly*). Thompson et al (2016) argumenta que a DfAM ainda está em desenvolvimento, embora muito trabalho seja necessário para trazer o DfAM à maturidade para produção de peças finais em escala econômica.

Em Pradel et al. (2018) são apresentados diferentes fatores sobre o processo de tomada de decisão sobre o emprego da Manufatura Aditiva no PDP, Figura 1. Grande parte destes fatores são considerados nas fases iniciais do processo de desenvolvimento de produtos, ou seja, nas fases de projeto de produtos. Corroborando com a literatura de desenvolvimento de produtos (Back et al., 2008; Rozenfeld et al. 2006) sobre a importância da tomada decisão sobre a importância da integração do processo de fabricação nas fases iniciais de projeto de produtos, a engenharia simultânea.

Entre os fatores apresentados, destacamos os associados aos custos e a geometria das peças. Lindeman et al. (2012) argumentam que os custos das peças fabricadas por MA parecem ser muito mais altos em comparação com os de peças fabricadas tradicionalmente. Contudo, a análise de peças fabricadas por MA necessita de uma análise dos direcionadores dos custos de todo o ciclo de vida do produto, uma vez que processos posteriores de montagem ou acabamento podem ser eliminados. Os direcionadores de custos para análise de viabilidade econômica da MA ainda estão em desenvolvimento, análise de sensibilidade para tecnologias específicas tem sido realizadas (Griffin et al., 2022).

Quadro 1 – Tipologias do DfAM (Pradel et al., 2018, tradução nossa).

Projeto Heurístico (Design Heurístico)	São diretivas dependentes do contexto que suportam o processo de projeto aumentando as chances de alcançar rápida e eficientemente uma solução satisfatória, mas não necessariamente ótima. As heurísticas de design geralmente não são explicitamente validadas, mas baseadas na intuição, conhecimento tácito ou compreensão experiencial
Princípios de Projeto (Design Principles)	Princípios de design são direcionadores de alto nível derivadas indutivamente de extensa experiência e/ou evidência empírica. Eles podem fornecer indicações sobre como projetar com eficiência e/ou explorar os recursos MA. Devido à sua natureza altamente abstrata, os princípios podem ser difíceis de aplicar na prática; no entanto, eles são menos restritivos do que outras tipologias e, portanto, são adequados para apoiar atividades criativas, como geração de conceito.
Diretrizes de Projeto (Design Guidelines)	Diretrizes de projeto são direcionadores dependentes do contexto que fornecem uma direção para o processo de design para aumentar a chance de alcançar uma solução bem-sucedida. Sua validade é comprovada por ampla experiência e/ou evidência empírica. As diretrizes de design geralmente são menos abstratas e mais aplicáveis do que os princípios, mas também menos gerais e mais restritivas.
Regras de Projeto (Design Rules)	As regras de projeto fornecem conhecimento onde a relação entre causa e efeito é bem conhecida e produzem resultados previsíveis e confiáveis. Eles são geralmente extraídos de experimentos quantitativos ou da análise de muitos casos. Geralmente, eles são empregados no estágio de projeto detalhado para refinar a forma/forma ou para otimizar características geométricas (por exemplo, definir com precisão filetes, raios, espessuras de parede etc.). A validade é limitada a uma combinação específica de material e processo.
Diretrizes de processo	As diretrizes de processo são informações sobre como realizar o processo de MA, e atingir os requisitos de peça desejados. Eles definem os parâmetros da máquina e as operações de pós-processamento. Este tipo de informação pertence ao domínio conhecimento da engenharia de produção e o projetista geralmente não tem controle direto sobre ela. No entanto, a conscientização das diretrizes do processo beneficiará o processo de projeto.
Especificações	As especificações são informações para o processo de impressão AM/3D sobre as características da peça que não podem ser expressas através da forma nem modeladas em CAD. Na fabricação tradicional, tais características são tolerâncias, rugosidade e acabamento (por exemplo, cor). Em AM, outras características podem ser especificadas sem afetar a geometria CAD. Alguns exemplos são preenchimento (porcentagem e forma), resolução (espessura da camada), orientação da peça, propriedades mecânicas do material etc. As especificações geralmente são codificadas por padrões internacionais e comunicadas por meio de desenhos de engenharia.
Ferramentas de seleção de processo	As ferramentas de seleção de processo são auxiliares de tomada de decisão para selecionar os processos apropriados. Elas podem ser distinguidas em duas categorias, ferramentas que suportam a seleção entre AM e manufatura convencional e ferramentas que suportam a seleção entre os diferentes processos de AM. Sua natureza pode ser qualitativa (para os estágios iniciais do processo de projeto) e quantitativa (para os estágios posteriores em que informações mais detalhadas da peça estão disponíveis).

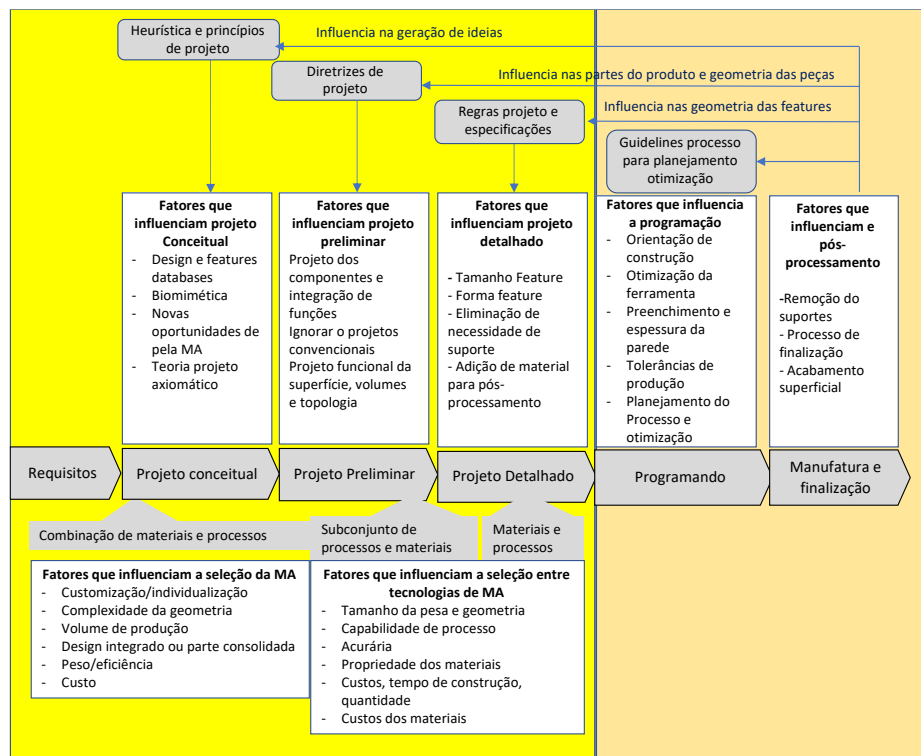


Figura 1 – Framework DfAM (Pradel et al., 2018, tradução nossa).

2.1 Sistemática de Projeto para Manufatura Aditiva

Alves (2021) propôs uma sistemática de projeto para Manufatura Aditiva, o autor a partir de uma revisão bibliográfica sistemática e aplicação de um caso concreto, utilizando a tecnologia FDM, propôs um modelo de organização conhecimento do PDP utilizado o processo de fabricação via MA. A sistemática compreende um corpo de conhecimento baseado na revisão da literatura para as diferentes atividades envolvidas, Figura 3. Tem como base a Norma ISO/ASTM 52910:2018. A seguir será apresentada uma síntese da sistemática que vem sendo aprimorada no Laboratório Aberto de Brasília.

A primeira etapa definida na sistemática inicia-se com duas atividades relativas à macro fase de pré-desenvolvimento do PDP, presentes em Rozenfeld et al. (2006), no qual busca-se inicialmente definir o problema e realizar estimativas de fabricação e produção do produto. Estas atividades visam estimar se a MA representa alguma vantagem na fabricação de peças de produto ao longo do ciclo de vida do produto. A segunda etapa visa guiar a definição de conceitos para o produto, partindo dos requisitos do produto, da análise funcional e das restrições do processo de MA, aqui representado na forma especificações de projeto. A terceira etapa envolve definições do Processo. A quarta fase envolve a fabricação de peças e avaliação dos primeiro modelos e guias para realização de pós-processamento. A quinta e última etapa da sistemática foi desenvolvida para guiar os projetistas no controle de lotes de fabricação, controle de qualidade de peças e identificar toda documentação que deve ser armazenada para possibilitar a reprodução do produto de acordo com a demanda.

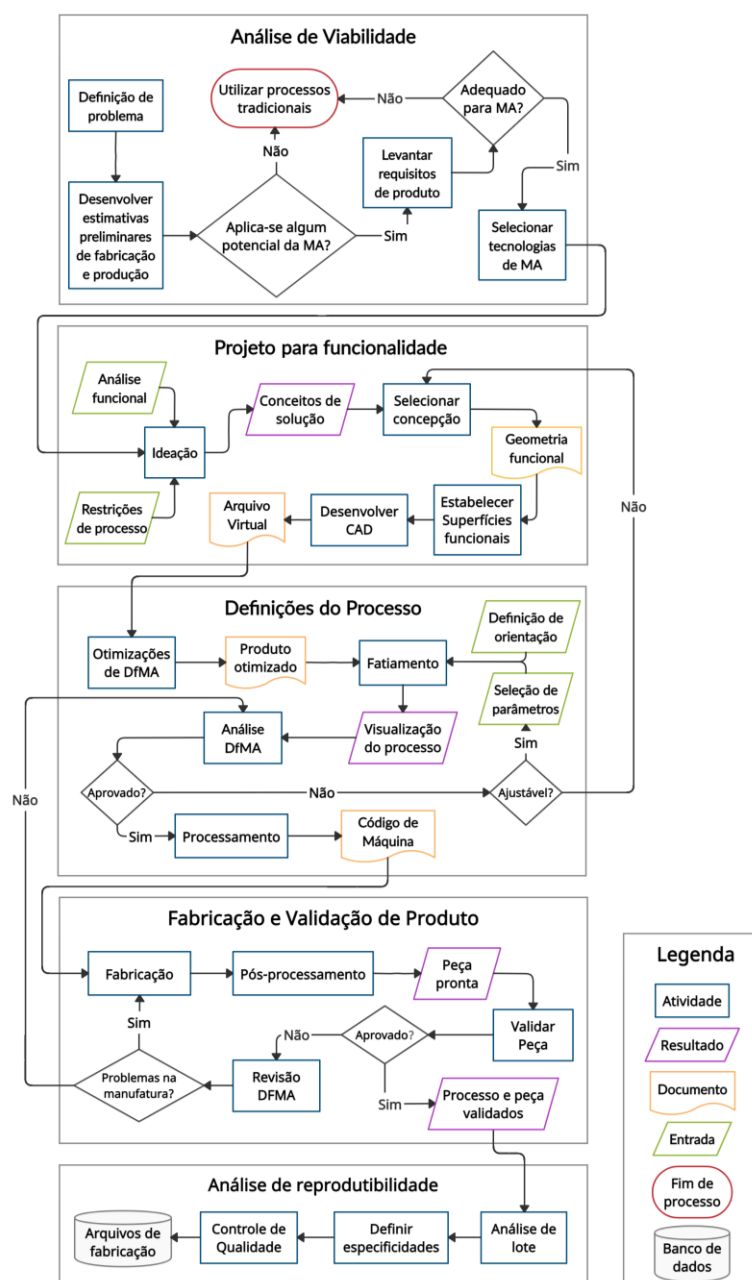


Figura 2 – Sistemática de Projeto para Manufatura Aditiva (Alves, 2021).

4. RESULTADOS

A Origem Motos Elétricas é uma empresa de desenvolvimento e soluções elétrica de mobilidade urbana, que opera no projeto, na fabricação e no sistema de locação das motos. A estratégia de produção em parceria com o LAB de pequenos lotes de peças foi com o propósito de fazer rápidas alterações em diferentes modelos de peças com o intuito de atender as necessidades dos clientes. Para tanto foram definidas 13 peças considerando os seguintes critérios: customização/individualização e complexidade geométrica. Ao inserir os critérios custos e tamanhos das peças foram retiradas duas peças. A Tabela 1 apresenta a relação de peças e respectivas quantidades para produção.

Tabela 1. Relação de peças e respectivas quantidades para produção.

Peça	Quantidade
2	1200
3	1200
7	600
10	600
11	1200
17	600
18	600
19	1200
21	600
22	600
36	1200

Os direcionadores de custos utilizados para o cálculo dos custos foram: tempo de modelagem CAD, preparação da máquina, custos impressão FDM, finalização de impressão e material. Os custos homem/hora e outros custos indiretos, como energia e manutenção, foram associados aos direcionadores anteriormente listados.

A seleção dos materiais para a impressão FDM considerou a exposição do material a radiação ultravioleta provenientes da exposição ao Sol das peças. Foi selecionado o filamento de polietileno tereftalato glicol (PETG), as propriedades do filamento PETG são: resistência à tração 28 Mpa; alongamento na ruptura 130%; módulo de Flexão 2160 Mpa; dureza 106 R; resistência ao impacto IZOD 4,5 J/m.

A forte anisotropia das impressões 3D faz com haja necessidade de verificação experimental das propriedades das impressões. A anisotropia é inerente do processo de impressão 3D. Na tecnologia FDM a resistência na adesão entre camadas é considera inferior quando comparada com a resistência no plano de deposição, as peças impressas terão resistência a tração sensivelmente maior ao longo do eixo x-y (horizontal à direção de impressão). A resistência à tração no eixo z (vertical à direção de impressão) é comparativamente baixa, mas a resistência à compressão do eixo z é normalmente boa (Ruckle et al., 2017).

Após a modelagem da peça foram preparados os arquivos *gcodes*, que contém programação de linguagem de máquina para as impressoras. Cada arquivo poderia ter mais de uma peça, recebendo a denominação de “Conjunto”. Buscou-se criar *gcodes* com três a quatro horas de impressão, visando a simplificação das rotinas de produção no LAB. Isso se deu por conta da redução de repetições do processo de impressão. Nesta etapa, foram verificadas as condições anisotropia, definindo-se as melhores orientações de impressão, para otimizar o acabamento e resistência das peças. Ao todo, foram criados 18 conjuntos para utilização na produção. A Figura 3 exemplifica um conjunto de impressão.

A validação dos arquivos *gcodes* ocorreu de forma iterativa, encerrando quando os resultados foram entendidos como satisfatórios. Para orientar esta etapa também foram utilizadas as Diretrizes de DfAM propostas por Huang et al (2021), apresentadas no Quadro 2.

Na atividade de fabricação houve o pré-aquecimento da plataforma de fabricação, materiais que apresentam maior ciclo térmico, como o PETG, permite maior aderência da primeira camada à plataforma mantendo o material depositado a uma temperatura próxima do material que está sendo extrudado, diminuindo o gradiente de temperatura e reduzindo o efeito de empenamento e de distorção das peças durante o resfriamento. Devido o material ser higroscópico, capaz de absorver a umidade presente no ambiente, o material foi armazenado em sacos fechados com a presença de sílica. A presença de umidade no filamento causa falhas na extrusão, devido a evaporação dessa umidade durante o processo de transição vítrea do material.

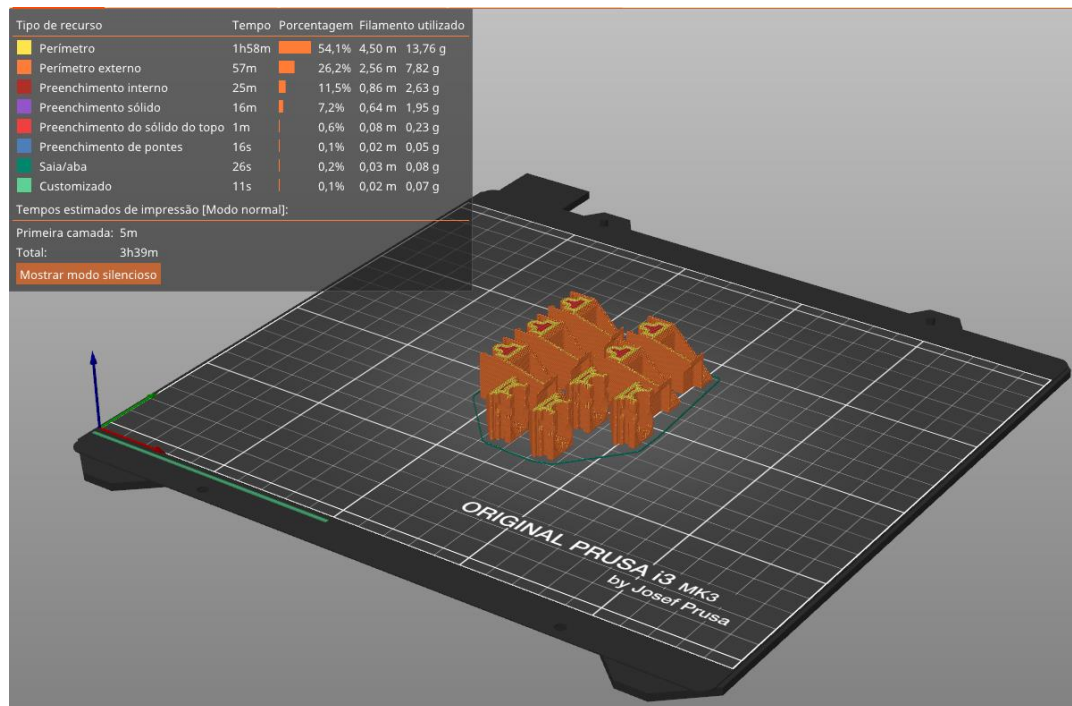


Figura 3. Exemplo de conjunto de impressão. Fonte: arquivos internos LAB.

Quadro 2 – Diretrizes de Projeto para Manufatura Aditiva (Huang et al, 2021, tradução nossa).

- Preserve pequenos recursos imprimindo-os em uma orientação que não requer material de suporte;
- Preserve o acabamento da superfície imprimindo artefatos em uma orientação que não requer material de suporte;
- Evite o empenamento da peça minimizando a área da seção transversal e as tensões residuais;
- Melhore o sucesso da impressão orientando uma peça com a proporção vertical mais baixa;
- Reduza o peso, o custo do material e preserve a estabilidade substituindo volumes sólidos por estruturas celulares;
- Elimine etapas e tempo de montagem imprimindo juntas funcionais e interfaces diretamente;
- Integre funcionalidade adicional incorporando componentes ou recursos em volumes internos não utilizado;
- Obtenha as propriedades mecânicas desejadas adaptando a geometria da mesoestrutura;
- Reduza o tempo de impressão orientando a dimensão mais curta paralela à direção de fabricação mais lenta;
- Garanta a capacidade de impressão dimensionando artefatos e removendo volumes não crítico;
- Melhore a precisão de curvas e perfis críticos orientando curvas e perfis críticos no plano de maior resolução;
- Satisfaça requisitos funcionais alternativos dimensionando o artefato;
- Satisfaça diferentes requisitos paramétricos dimensionando o artefato;
- Minimizar o tempo e o esforço de projeto reutilizando a geometria de componentes já projetados;
- Minimizar o tempo de montagem e o número de componentes incorporando encaixes de pressão sempre que possível;
- Incorpore componentes de baixo custo existentes integrando as interfaces padrão necessárias;
- Melhorar a capacidade de fabricação dividindo o artefato em componentes menores.

A calibração das impressoras é outro fator importante. Contudo não será tratada neste trabalho. Falhas durante a impressão podem ocorrer relacionadas a seleção de parâmetros. O Quadro 3 apresenta os principais parâmetros de impressão FDM utilizados.

Quadro 3 - Principais parâmetros de processo para a tecnologia FDM utilizados (Alves, 2021).

Parâmetros	Definição e Influência
Diâmetro do bico	O diâmetro do bico de extrusão instalado na máquina. Influência nas definições principais do processo, como altura da camada (25% a 75% do diâmetro do bico) e largura da extrusão (120% do diâmetro).
Retração	Conjunto de parâmetros que caracterizam o movimento de retração do filamento após completar uma etapa de deposição, parâmetro importante no processo para evitar falhas.
Altura de camada	Representa o passo vertical da máquina no processo de fabricação. Influencia diretamente no aspecto da peça, no tempo de impressão e na rugosidade das superfícies no eixo vertical.
Quantidade de camadas	Determina a quantidade de camadas de base, topo e parede. São parâmetros que influenciam na resistência da peça final, no aspecto das superfícies e na tolerância dimensional.
Primeira camada	A primeira camada de impressão é extrudada diretamente sobre a plataforma de fabricação, dessa forma precisa ter parâmetros próprios para garantir a aderência no substrato.
Preenchimento	A possibilidade de otimizar o preenchimento das peças representa um dos potenciais ganhos da MA, dessa forma diversos parâmetros tendem a otimizar seu formato.
Suporte	A definição dos suportes é essencial para a tecnologia FDM, são usados para apoiar recursos de peça que sofreriam deformações por não terem substrato para apoio durante o processo de deposição.
Temperaturas	Os polímeros utilizados nos processos de FDM são sensíveis à variações de temperatura, como na extrusão necessitam estar em estado vítreo e importante controlar esse parâmetro. A temperatura da plataforma de fabricação também influencia no processo de resfriamento do material depositado evitando distorções e favorecendo a aderência entre camadas.
Velocidades	Os parâmetros de velocidade de movimentação são essenciais para o controle de processo, eles influenciam diretamente no fluxo de material extrudado continuamente e no acabamento da peça final.

Para a execução da produção foram planejadas a utilização de 20 impressoras, 9.137,09 Horas e 130 Kg de filamentos, envolvendo 81 dias úteis de produção. O projeto foi realizado em 70 dias e utilizou-se 117 Kg de filamento.

Em caso de falhas recorrentes em determinada impressora, ocorria a substituição por outra impressora enquanto executava-se a manutenção corretiva da máquina inicial. As manutenções preventivas ocorreram quinzenalmente e de forma alternada, ou seja, era realizada apenas a manutenção em apenas uma ou duas impressoras por vez, sempre buscando manter a produção com 20 impressoras.

A Figura 4 apresenta a relação das falhas de impressão e as suas possíveis causas. Falha pode ser entendida como o erro verificado pela equipe, enquanto as causas são o principal motivo para falha. Ao se analisar as falhas que decorridas classificou-se em 7 categorias: peça não finalizada, peças descolou da mesa, acúmulo de filamento, brechas entre camadas, falhas nas camadas de topo, *shift* de camadas e outros. Dentre as possíveis causas, listam-se: bico entupido, falha no extrusor, filamento com nó, filamento de má qualidade, fixação incorreta, mesa descalibrada, queda de energia e outro.

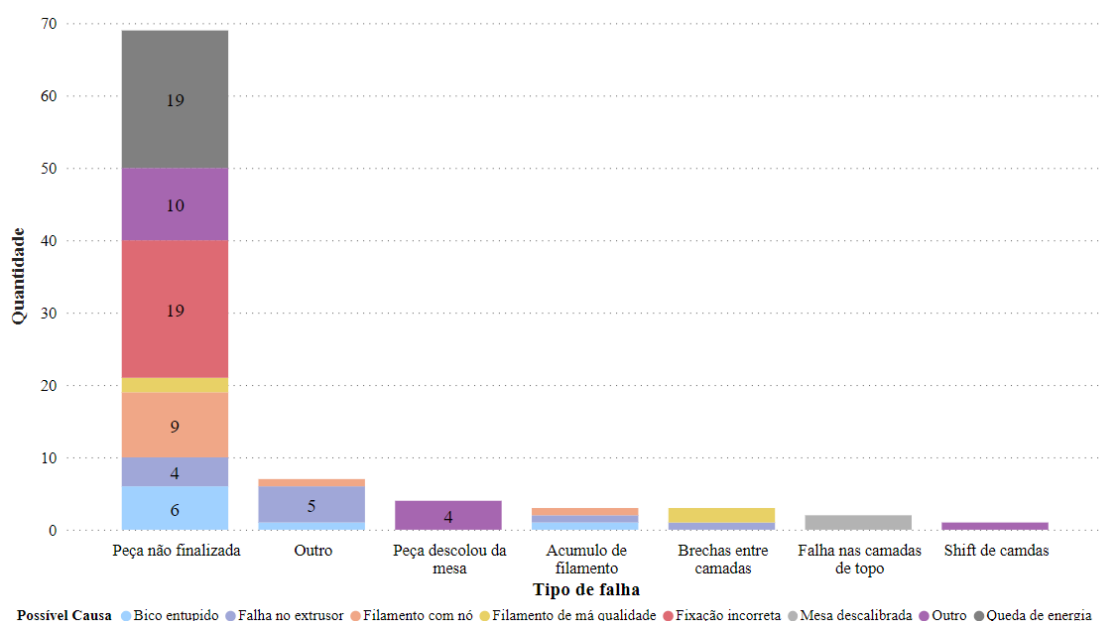


Figura 4. Gráfico de falhas de produção e possíveis causas.

Analisando a Figura 4, percebe-se que o principal problema enfrentado na produção em série dessas peças foi a não finalização, tendo ocorrido em 69 impressões. Já em relação as possíveis causas com maiores frequência de ocorrência, vale destacar a queda de energia, resultando na interrupção da produção e, conseqüentemente, em peças não finalizadas.

Embora não esteja no controle do LAB, as quedas de energia impactaram na eficiência da produção. Ademais, em uma das rodadas de impressão, ocorreu falha da rotina na tarefa de utilização do *spray* adesivo e, consequentemente, foi necessário a interrupção das impressões. Embora tenha ocasionado 19 falhas, o gasto de material foi mitigado pela ação rápida da equipe. Retirando as quedas de energia, um evento aleatório sem controle no projeto. A confiabilidade do processo de produção manteve acima de 95%.

Complementarmente às atividades anteriormente descritas, foi realizado um controle de qualidade da empresa contratante, por meio de inspeção visual das peças e análises de resistência não destrutivas de peças selecionadas aleatoriamente ou que continham pequenas imperfeições visuais (aspecto, coloração, brilho ou falhas perceptíveis nos perímetros externos).

5. ANÁLISES DOS RESULTADOS

Os resultados apresentados envolveram as etapas “definição de processo, fabricação e validação do produto e análise de reprodutibilidade” da sistemática de DfAM proposta em Alves (2021). Foi observado na etapa de definição de processo, uma revisita a etapa anterior, etapa de projeto para análise das funcionalidades, enfatizando a alta interação entre os estágios de projeto e fabricação.

As tipologias do DfAM propostas por Pradel et al (2018) foram utilizadas, tanto pela startup quanto pela equipe do Laboratório Aberto de Brasília. A abordagem principal para resolução foi o projeto heurístico, no qual tentou-se a partir de um conhecimento tácito ou compreensão experiencial propor soluções para o contexto que estava sendo apresentado.

Mesmo com o conhecimento sobre a importância da caracterização das propriedades dos materiais, observa-se que a sistemática de Alves (2021) apresenta lacunas referente a caracterização dos materiais. Sendo esta uma atividade do contexto de projeto, ela pode levar atrasos na implementação da produção via manufatura aditiva ou ainda possíveis retrabalhos. A explicitação da importância das propriedades dos materiais na sistemática proposta por Alves (2021) envolve um ponto de melhoria.

Infere-se o domínio técnico da equipe referente as diretrizes de DfAM (Huang et al.; 2021) quanto a elaboração do “conjunto de impressão”, destaque as análises de condições anisotropia das peças. Este domínio técnico pode ser comprovado pela baixa taxa de falha na produção via Manufatura Aditiva.

Este trabalho apresenta algumas limitações de exposição das geometrias das peças e testes devido a confidencialidade de informações entre a startup e o Laboratório Aberto de Brasília. Uma vez que o produto ainda está em desenvolvimento. Contudo, observa-se que mesmo utilizando a tecnologia FDM de baixo custo foi possível a utilização de peças finais para testes em campo.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como uma das tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 a Manufatura Aditiva tem apresentado a necessidade de ampliar sua utilização como meio de fabricação para produção de peças finais. As vantagens de flexibilização, customização e redução da complexidade da cadeia de suprimentos, tem ampliado o interesse da pesquisa entre as etapas de projeto e fabricação, retornando aos preceitos da engenharia simultânea e ao desenvolvimento integrado de produtos,

Para tanto, existe a necessidade de utilizar metodologias que permitam sua considerar a manufatura atividade desde nas etapas iniciais de desenvolvimento de um produto, identificando os potenciais a serem explorados no projeto de produtos e processo de fabricação.

O escopo de atuação do DfAM, quando comparado ao DfMA (*Design for Manufacturing e Assembly*) é muito mais amplo. Para tanto exige um perfil de conhecimento técnico para obter todos os benefícios da fabricação por Manufatura Aditiva. Este artigo contribui no avanço da importância da teoria de projeto e princípios para capacidade de fabricação via manufatura aditiva.

7. AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001

8. REFERÊNCIAS

- Alves, T. C. Proposta de uma Sistemática do Projeto para Manufatura Aditiva (DfMA) no contexto de Desenvolvimento de Produtos. 2021. 152 f., il. Dissertação (Mestrado em Sistemas Mecatrônicos) —Universidade de Brasília, Brasília, 2021.
- Back, N.; Ogliari, A.; Dias, A.; Silva, J. C. Da; *Projeto Integrado de Produtos: Planejamento, Concepção e Modelagem*. São Paulo: Manole, 2008. 601p.
- Daly, S. R. et al. Design Heuristics in Engineering Concept Generation. *Journal of Engineering Education*, v. 101, n. 4, 2012.

- Griffin, C., Hale, J. & Jin, M. A framework for assessing investment costs of additive manufacturing. *Progress Additive Manufacturing*, n.7, p.903–915, 2022.
- Huang, D. et al. Design Principles for Additive Manufacturing: Leveraging Crowdsourced Design Repositories. *Journal of Mechanical Design*, v. 142, n. 7, 2021.
- Pradel, P. et al. A framework for mapping design for additive manufacturing knowledge for industrial and product design, *Journal of Engineering Design*, v.29, n. 6, p.291-326, 2018
- Rozenfeld, H.; Forcellini, F. A.; Amaral, D. C.; et al. *Gestão de Desenvolvimento de Produto: uma referência para a melhoria do processo*. 1 ed. São Paulo: Saraiva, 2006.
- Thompson, M. K. et al. Design for additive manufacturing: trends, opportunities, considerations, and constraints. *CIRP Annual -Manufacturing Technology*, v. 65, p.737–760. 2016,
- Volpato, N. (Org.). *Manufatura Aditiva e aplicação da Impressão 3D*. São Paulo: Blucher. 2017.

8. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.

PRODUCTION OF FINAL PARTS BY ADDITIVE MANUFACTURING: A CASE STUDY

Tiago Camargo Alves

Origem Motos - Brasília - DF, 70632-100
tiago.camargoalves@gmail.com

Gabriel Queiroz Gongora

University of Brasilia - Brasilia, DF, 70910-900
qg.gongora@gmail.com

Alexandre Crepory Abbott de Oliveira

University of Brasilia - Brasilia, DF, 70910-900
alex.crepory@gmail.com

Andrea Cristina dos Santos

University of Brasilia - Brasilia, DF, 70910-900
andreasantos@unb.br

Abstract. The simultaneous engineering approach and integrated product development are still challenges for companies and formation of human resources. Over the past 30 years, the use of manufacturing technologies has shifted from making prototypes to developing final parts. The scientific community has begun to explore Additive Manufacturing to provide a knowledge base to support professional practice. However, current knowledge is still fragmented. Fused Deposition Modeling (FDM) printing technologies offered to amateurs, with the slogan “if you can imagine it, you can do it” have not lived up to expectations. Even for experienced designers, the claimed advantages do not match their experiences. Therefore, the benefits of using additive manufacturing, mainly due to the freedom of shape offered, require a different mindset regarding conventional production methods to achieve the intended objectives. This article seeks to contribute to the body of knowledge for the development of products using additive manufacturing based on heuristic design theory. Through a partnership with a startup, a design system for additive manufacturing (DfAM – Design for Additive Manufacturing) was developed, which includes the manufacturing stages. This article analyzes the use of this DfAM system in the manufacture of a set of parts. The results found demonstrate a need for a strong integration between the design stage of the part's functionalities with the manufacturing stages. Therefore, the scope of action of DfAM, when compared to DfMA (Design for Manufacturing and Assembly) is much broader. Therefore, it requires a profile of technical knowledge to obtain the benefits promised by Additive Manufacturing. This article contributes to advancing the importance of design theory and principles for manufacturability via additive manufacturing.

Keywords: Design for Additive Manufacturing; Additive Manufacturing; Final Parts.

RESPONSIBILITY NOTICE

The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.