

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO DO CÂMPUS CURITIBA
ESPECIALIZAÇÃO EM GESTÃO DO DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS**

LEANDRO AUGUSTO MENDES

**ANÁLISE DA MANUFATURA ADITIVA PARA SUBSTITUIÇÃO DO
PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE *HOT STABS* CEGOS PARA A
INDÚSTRIA OFFSHORE DE ÓLEO E GÁS NO BRASIL**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA

2014

LEANDRO AUGUSTO MENDES

**ANÁLISE DA MANUFATURA ADITIVA PARA SUBSTITUIÇÃO DO
PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE *HOT STABS* CEGOS PARA A
INDÚSTRIA OFFSHORE DE ÓLEO E GÁS NO BRASIL**

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Gestão do Desenvolvimento de Produtos, da Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação do Câmpus Curitiba, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Me. David Kretschek

CURITIBA

2014

RESUMO

MENDES, Leandro Augusto. **Análise da manufatura aditiva para substituição do processo de fabricação de *hot stabs* cegos para a indústria offshore de óleo e gás no Brasil.** 2014. 26p. Monografia (Especialização em Gestão do Desenvolvimento de Produtos) – Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação do Câmpus Curitiba, Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Este estudo visa analisar a substituição do processo atual de fabricação de um componente da indústria de óleo e gás no Brasil, conhecido como *hot stab* cego, pelo processo de manufatura aditiva. A oportunidade de estudo surgiu da necessidade em acelerar o processo de fabricação e reduzir custos no desenvolvimento destes produtos. Este estudo utiliza uma metodologia quantitativa, apresentando uma análise para a escolha do processo mais indicado para a substituição, bem como uma comparação entre o processo atual e a nova tecnologia, incluindo custo e tempo de ambos. Como resultado foi visto que ainda não é viável a utilização da manufatura aditiva para substituição do processo atual de fabricação de *hot stabs* cegos, apesar deste processo garantir produtos com boas características comparados aos processos atuais.

Palavras-chave: Desenvolvimento de produtos; manufatura aditiva; prototipagem rápida; impressão 3D; óleo e gás; *hot stab* cego; DMLS.

ABSTRACT

MENDES, Leandro Augusto. **Analysis of additive manufacturing to replace the manufacturing process of *hot stabs* blind to the offshore oil and gas in Brazil.** 2014. 26p. Monograph (Specialization in Product Development Management) - Director of Research and Graduate Campus of Curitiba, Federal Technological University of Paraná.

This study aimed at replacing the current process of manufacturing a component of the oil and gas industry in Brazil, known as *hot stab* blind, by the additive manufacturing process. The study opportunity arose from the need to accelerate the manufacturing process and reduce costs in developing these products. This study uses a measurement method by providing an analysis to choose the most suitable process for the replacement as well as a comparison between the new and current process technology, including both cost and time. As a result it was seen that it is not yet feasible to use additive manufacturing to replace the current manufacturing process of *hot stabs* blind, although this process ensure products with good features compared to current processes.

Keywords: Product development; additive manufacturing; rapid prototyping; 3D printing; oil and gas; hot stab blind; DMLS.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – REPRESENTAÇÃO DO PROCESSO DE MANUFATURA ADITIVA.....	07
FIGURA 2 – <i>HOT STAB</i> CEGO COMPLETO COM A HASTE PINTADA.....	10
FIGURA 3 – COMPONENTES DO <i>HOT STAB</i> CEGO.....	11
FIGURA 4 – CORPO SOLDADO.....	11
FIGURA 5 – VISTA EXPLODIDA DO CORPO SOLDADO.....	12
FIGURA 6 – FUNCIONAMENTO DO PROCESSO DMLS.....	19
FIGURA 7 – ESQUEMA COMPARATIVO: PROCESSO ATUAL X PROCESSO MANUFATURA ADITIVA.....	23

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – ITENS DO <i>HOT STAB</i> CEGO	10
TABELA 2 – LISTA DE MATÉRIA-PRIMA.....	12
TABELA 3 – PRINCIPAIS PROCESSOS DE MANUFATURA ADITIVA COM MATERIAIS METÁLICOS.....	16
TABELA 4 – COMPARAÇÃO ENTRE FORNECEDORES.....	22
TABELA 5 – COMPARAÇÃO DOS PROCESSOS.....	23

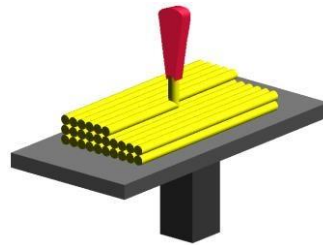
SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	07
2 OBJETIVO.....	09
3 O PRODUTO EM ESTUDO: <i>HOT STAB</i> CEGO.....	10
4 PROCESSO DE MANUFATURA ATUAL.....	12
5 PROCESSO DE MANUFATURA ADITIVA.....	14
6 PROCESSO MAIS ADEQUADO AO ESTUDO.....	16
6.1 DMLS - Direct Metal Laser Sintering.....	18
7 COMPARAÇÃO: PROCESSO ATUAL X DMLS.....	20
8 CONCLUSÕES.....	24
REFERÊNCIAS.....	25

1 INTRODUÇÃO

A manufatura aditiva, também conhecida como prototipagem rápida ou impressão 3D, é uma tecnologia que deposita material, camada por camada, sem a necessidade da utilização de matrizes ou ferramentas, somente a partir de um modelo geométrico tridimensional (3D) obtido por um sistema CAD (*Computer Aided Design*), formando assim, automaticamente, um componente físico a partir do zero (VOLPATO, 2007, p. 3).

Figura 1 – representação do processo de manufatura aditiva



Fonte: Wikipédia (2014)

A Organização Nacional da Indústria do Petróleo (ONIP) publicou uma notícia em 2013, sobre o lançamento de um projeto chamado Fabricação Digital, juntamente com o INT (Instituto Nacional de Tecnologia) e a PUC-RIO (Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro), onde pretende atender a enorme demanda brasileira por protótipos e produtos voltados à indústria de óleo e gás. A Petrobrás investirá cerca de R\$ 10 milhões (decorrentes de investimentos obrigatórios em P&D) para o projeto. Tendo por objetivo fortalecer a indústria nacional e desenvolver novas tecnologias, incluindo a manufatura aditiva para prototipagem rápida e fabricação de componentes (ONIP, 2013).

Atualmente, as empresas do setor de óleo e gás no Brasil sofrem muito com atrasos nas entregas, decorrente da lentidão dos processos de fabricação atuais, tais como o forjamento, usinagem e a soldagem, resultando em multas e descontentamento do cliente. Devido a estes atrasos e também ao interesse das grandes empresas deste setor em novas tecnologias, como a manufatura aditiva, surgiu a oportunidade de estudo para se buscar por inovações que auxiliem no cumprimento dos prazos e redução dos custos de fabricação.

A inovação não se resume somente em criar um novo produto, mas também inovar em como este produto está sendo fabricado, sendo assim, o tópico deste projeto é tornar a inovação, no processo produtivo de um componente, uma realidade.

O estudo se baseia na análise de substituição do processo de fabricação atual de um componente muito usado na indústria de óleo e gás no Brasil, chamado de *hot stab* cego.

2 OBJETIVO

O objetivo deste projeto é levantar as especificações exigidas para a fabricação de *hot stabs* cegos no setor de óleo e gás no Brasil, investigar como estes componentes são produzidos atualmente e analisar se o processo de manufatura aditiva pode substituir o processo atual de fabricação destes componentes. Vale citar que este trabalho não tem como objetivo focar em características específicas do material, e sim focar somente se o processo de manufatura aditiva é capaz de produzir peças que atendem as exigências deste setor.

3 O PRODUTO EM ESTUDO: *HOT STAB* CEGO

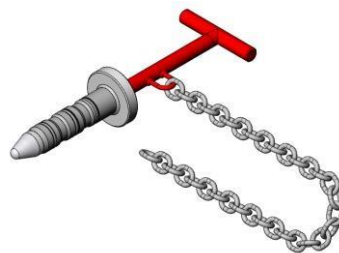
Os equipamentos utilizados na indústria de óleo e gás são destinados à extração e produção em ambiente *offshore*, ou seja, em ambientes localizados em alto mar. Estes produtos são instalados no solo submarino e necessitam resistir às intempéries do ambiente, como pressões elevadas e a alta corrosão provocada pela água salina.

Praticamente todos estes equipamentos possuem painéis com interfaces de controle, que podem ser controlados por ROV's (*Remotely Operated Vehicles*) ou por mergulhadores, dependendo da profundidade em que os equipamentos estarão operando. Se operados por ROV, estas interfaces são chamadas de painéis ROV.

Os ROV's são veículos operados remotamente, seja de uma embarcação ou de uma plataforma de produção, possuem câmeras, sensores e ferramentas necessárias para controlar os equipamentos que estão sendo operados em águas de grandes profundidades.

De acordo com a norma API 17H (API, 2013), os *hot stabs* cegos (Figura 2) são conectores temporários das interfaces de controle do painel ROV e são utilizados para garantir a integridade e funcionalidade dos receptáculos que não estão em uso, protegendo-os contra sujeira e incrustações, decorrentes do surgimento da vida marinha. Podem possuir ou não função de vedação.

Figura 2 – *Hot stab* cego completo com a haste pintada



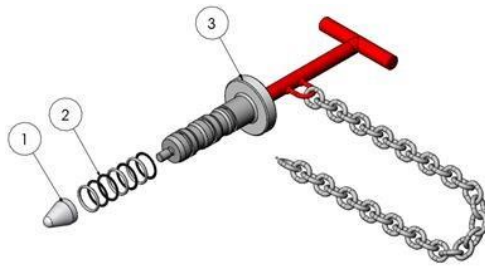
Fonte: autoria própria (2014)

O *hot stab* cego é um conjunto formado pelos seguintes itens da Tabela 1 e conforme a Figura 3.

Tabela 1 – itens do *hot stab* cego

Item nº	Qtde	Descrição
1	1	Ponteira de Nylon
2	1	Conjunto de O'rings
3	1	Corpo Soldado

Fonte: autoria própria (2014)

Figura 3 –componentes do *hot stab* cego

Fonte: autoria própria (2014)

Figura 4 – corpo soldado



Fonte: autoria própria (2014)

O componente de interesse é o item número 3, que é o corpo soldado (Figura 4). A corrente possui a função de fixar o *hot stab* no painel ROV, para evitar que o componente seja perdido durante a operação. Porém, como a corrente é um produto de fácil acesso no comércio, é possível deixar ela de lado para simplificar o estudo e focar no componente principal.

O *hot stab* cego é um componente relativamente pequeno quando se trata de produtos voltados para a área de óleo e gás, o corpo soldado possui dimensões de aproximadamente 375 mm x 127 mm x 80 mm (medidas externas máximas: comprimento x largura x altura).

4 PROCESSO DE MANUFATURA ATUAL

Em uma empresa de grande porte do setor de óleo e gás no Brasil, o processo de manufatura atual para a fabricação de cada *hot stab* cego consiste inicialmente na compra de barras cilíndricas de aço inox AISI 316, conforme Tabela 2.

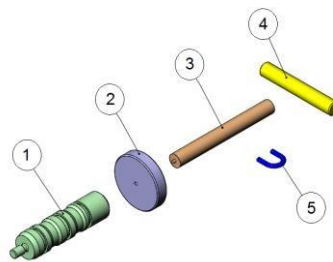
Tabela 2 – lista de matéria-prima

Item nº	Qtde	Descrição
1	1	Barra redonda AISI 316 Ø40x159mm
2	1	Barra redonda AISI 316 Ø80mm
3	1	Barra redonda AISI 316 Ø20x180mm
4	1	Barra redonda AISI 316 Ø20x127mm
5	1	Barra redonda AISI 316 Ø6mm

Fonte: autoria própria (2014)

Após a armazenagem da matéria-prima, as barras são cortadas e usinadas para formar os componentes individuais (Figura 5). Por mais que a maioria das usinagens realizadas nos itens seja relativamente simples, o processo de usinagem por si só já é um custo adicional, pois é um processo que desbasta material, ou seja, há um grande desperdício de matéria-prima e necessita de mão de obra qualificada.

Figura 5 – vista explodida do corpo soldado



Fonte: autoria própria (2014)

O segmento principal e mais complexo do componente é o item nº 1 da Figura 5, que demanda consequentemente maior atenção e tempo. Ele é composto por vários canais de diferentes dimensões, os quais tem a função de servir de alojamento para os anéis de vedação, mais conhecidos como “*o’rings*”.

Após as peças serem usinadas, estas são direcionadas para a próxima etapa na fabricação dos componentes, a soldagem. A soldagem, assim como a usinagem,

demanda tempo, custos elevados e também mão de obra qualificada. Os itens requerem quatro processos de soldagem.

A etapa seguinte consiste no acabamento das áreas soldadas, inspeção dimensional e inspeção por líquido penetrante, para ocasionais defeitos nas soldas.

Pelos processos atuais de fabricação, o custo para a produção de um *hot stab* cego é de aproximadamente R\$ 1.000,00, leva em torno de 12 horas e são necessários ao menos 6 (seis) etapas, sem incluir o processo final de pintura (levantamento realizado em empresa brasileira de grande porte do setor de óleo e gás, 2014).

5 PROCESSO DE MANUFATURA ADITIVA

De acordo com Volpato (2007, p. 10), todos os processos de manufatura aditiva atualmente existentes são constituídos basicamente por seis etapas:

1. Modelagem tridimensional (3D) da peça utilizando um sistema CAD;
2. Geração de um arquivo 3D no formato STL (*STereoLithography* – padrão que utiliza malha de triângulos para se aproximar da superfície da peça);
3. Verificação do arquivo de dados;
4. Planejamento do processo: fatiamento do arquivo em finas camadas transversais (2D) e definições de suporte e estratégias de deposição de material;
5. Fabricação da peça;
6. Pós-processamento do componente construído (limpeza e acabamento).

Como a tecnologia de manufatura aditiva é relativamente nova, não existia uma classificação bem definida dos processos, a fim de agrupá-los em categorias, variando assim de fabricante para fabricante. Anteriormente, utilizava-se a definição de Kai *et al.* (2003, citado por Volpato, 2007), onde os processos de manufatura aditiva eram classificados de acordo com a forma inicial do material utilizado:

- Baseado em líquido;
- Baseado em sólido;
- Baseado em pó;

Devido a esta necessidade de melhor classificar os novos processos, a norma ASTM-F2792 (ASTM, 2013) forneceu uma estrutura para agrupar as tecnologias atuais e futuras máquinas que utilizam o processo de manufatura aditiva. Os termos a seguir destinam-se a esclarecer melhor as diferenças entre estes processos:

- ***Binder jetting*** – processo no qual um jato contendo agente ligante líquido é depositado seletivamente para unir materiais em pó;
- ***Directed energy deposition*** – processo no qual a energia térmica é focalizada para fundir o material à medida que este é depositado;
- ***Material extrusion*** – processo no qual o material é seletivamente distribuído através de um bocal ou orifício;
- ***Material jetting*** – processo em que gotículas de material de construção são depositadas seletivamente.

- ***Powder bed fusion*** – processo no qual a energia térmica funde seletivamente regiões de um leito de pó;
- ***Sheet lamination*** – processo no qual lâminas de um material são sobrepostas e unidas para formar um objeto;
- ***Vat photopolymerization*** – processo no qual um líquido fotopolímero em um tanque é curado seletivamente pela polimerização ativada pela luz.

Não existem processos ideais dentro da manufatura aditiva, cada processo possui sua vantagem e desvantagem. É necessário analisar a aplicação que se deseja utilizar o processo e levar em consideração alguns fatores, tais como: propriedades físicas, mecânicas e estéticas exigidas; material a utilizar; disponibilidade das tecnologias e finalmente custos e prazos envolvidos na fabricação (SIMÃO *et al.*, 2000, *apud* LINO; NETO, 200-, p. 2).

Sendo assim, cada processo possui suas aplicações e particularidades. Pode-se definir um processo pela sua proximidade com a aplicação desejada, ou seja, o melhor processo é aquele que mais se adequa ao produto que se deseja fabricar.

Inicialmente o processo de manufatura aditiva foi desenvolvido para a criação de protótipos, pois a prototipagem é uma etapa muito importante e crítica dentro do desenvolvimento de produtos e sempre demandou tempo e custos elevados. Porém, com o passar dos anos e com a necessidade de novas tecnologias para a manufatura, este processo foi sendo aprimorado e passou a ser utilizado não só na prototipagem de peças, mas também na fabricação de peças funcionais (VOLPATO, 2007, p. 2-3).

Entre os materiais mais utilizados dentro da manufatura aditiva estão polímeros, elastômeros, termoplásticos, resinas epóxi-acrilato, cerâmicas, nylon e metais. Porém, este estudo é voltado nos processos utilizados com materiais metálicos, que é o material de uso predominante na indústria de óleo e gás atualmente.

6 PROCESSO MAIS ADEQUADO AO ESTUDO

Para definir o melhor processo para este estudo, previamente é preciso conhecer as especificações técnicas necessárias para a fabricação de um *hot stab* cego.

Como se trata de um componente simples, que tem por função somente garantir a integridade do receptáculo, este não possui especificações tão rígidas. É necessário atender somente as especificações referentes à composição do material e às dimensões da peça, incluindo obviamente, às tolerâncias dimensionais dos canais para alojar os anéis de vedação (*o'rings*) e a área de encaixe (item 1 da figura 5) com o receptáculo da interface do painel.

Sendo assim, as especificações necessárias para a fabricação de um *hot stab* cego são:

1. Material aço inox AISI 316;
2. Geometria da peça.

Dentre os processos encontrados atualmente no mercado que atendem as especificações citadas acima, podemos selecionar os principais processos de manufatura aditiva com metálicos, conforme Tabela 3.

Tabela 3 – principais processos de manufatura aditiva com materiais metálicos

Processo	DMLS	SLM	DMP	EBM	LENS
Empresa	EOS GmbH	SLM Solutions GmbH	3D Systems	Arcam AB	Optomec
Equipamento	EOS M400	SLM 500HL	ProX™ 300	Arcam Q20	LENS 850-R
Classificação	<i>Powder bed fusion</i>	<i>Powder bed fusion</i>	<i>Powder bed fusion</i>	<i>Powder bed fusion</i>	<i>Directed energy deposition</i>
Tipo	YB Fiber Laser, 1 kW	YLR Fiber Laser, 1 kW	Fiber Laser, 500 W	Electron Beam, 3 kW	IPG Fiber Laser, 4 kW
Precisão	Alta - 90 µm	Alta - 150 µm	Alta - 100 µm	Alta - 180 µm	Baixa - 0,25mm
Velocidade de varredura	Alta - 7,0 m/s	Alta - 15,0 m/s	Alta - 1,0 m/s	Muito alta - 1000,0 m/s	Baixa - 60,0 mm/s
Resistência mecânica	Alta	-	Alta	Alta	Alta
Densidade	Alta	-	Alta	Alta	Alta
Acabamento superficial	Bom	-	Bom	Bom	Regular-Ruim
Pós processamento	Sim	-	Sim	Sim	Sim
Tamanho máximo(x,y,z)	400 x 400 x 400 mm	500 x 280 x 325 mm	250 x 250 x 300 mm	200 x 200 x 180 mm	1500 x 900 x 900 mm

Fonte: autoria própria (2014)

- **DMLS (*Direct Metal Laser Sintering*)**: processo que sinteriza seletivamente o material metálico em um leito de pó, com a utilização de um laser de alta potência;
- **DMP (*Direct Metal Printing*)**: processo semelhante ao DMLS, porém do fabricante 3D Systems;
- **SLM (*Selective Laser Melting*)**: processo semelhante ao DMLS, porém do fabricante SLM Solutions GmbH;

- **EBM (*Electron Beam Melting*)**: semelhante ao processo DMLS, com a diferença de que ao invés de utilizar um feixe laser, é utilizado um feixe de elétrons para sinterizar o material;
- **LENS (*Laser Engineered Net Shaping*)**: processo que funde o pó metálico à medida que o material é depositado, com a utilização de um laser de alta potência.

No quesito material (aço inox AISI 316) os cinco processos citados acima atendem à fabricação do produto em estudo.

O tamanho da peça que se deseja fabricar é um ponto importante na hora de escolher o processo a se utilizar. O *hot stab* cego possui dimensões consideradas grandes para os atuais equipamentos de manufatura aditiva. Assim, com este parâmetro, é possível eliminar dois dos processos pré-selecionados, o DMP e o EBM, pois os equipamentos atuais destas tecnologias não atendem a este requisito dimensional.

Com relação ao processo SLM, este muito se assemelha ao processo DMLS e também atende aos requisitos do produto em estudo, porém como não foi possível encontrar maiores informações juntamente ao fabricante, este processo foi desconsiderado deste trabalho.

O processo LENS se assemelha muito ao processo de soldagem e com isso pode ser utilizado não somente para a fabricação, mas também para a reparação e adição de revestimentos, porém exibe acabamento superficial inferior nas peças fabricadas. Pode ser utilizado também em uma combinação com processos de usinagem no mesmo equipamento, sendo assim chamados de máquinas híbridas. Estas máquinas são muito vantajosas, pois garantem um acabamento simultâneo à fabricação da peça, sem a necessidade de pós-processamento, o que é interessante se tratando em produção de componente final (DMG MORI, 2014).

Uma das desvantagens do processo LENS é a necessidade de um suporte para a fabricação de peças com geometrias mais complexas, e utilizam do próprio material base para isto, o que ocasiona uma dificuldade no pós-processamento para a retirada deste apoio de construção (TAKAGAKI, 2012, p. 33).

Este é outro fator importante que pode influenciar na escolha do processo de manufatura aditiva: a geometria da peça. Os *hot stabs* cegos são compostos por segmentos arredondados por todo o seu comprimento, isto dificulta a fabricação pelo

método LENS, pois como não possui uma base de apoio para a fabricação, seriam necessários suportes para sustentar a peça durante a construção.

Já no caso do processo DMLS o pó que não é sinterizado funciona como um suporte para a peça em construção, porém, dependendo da geometria da peça, ainda se faz necessário também a construção de apoios para suporte e estruturas para auxiliar na dissipação de calor.

De acordo com a Tabela 3 é possível observar que o processo DMLS é superior ao processo LENS nas seguintes características: precisão, velocidade de varredura e acabamento superficial.

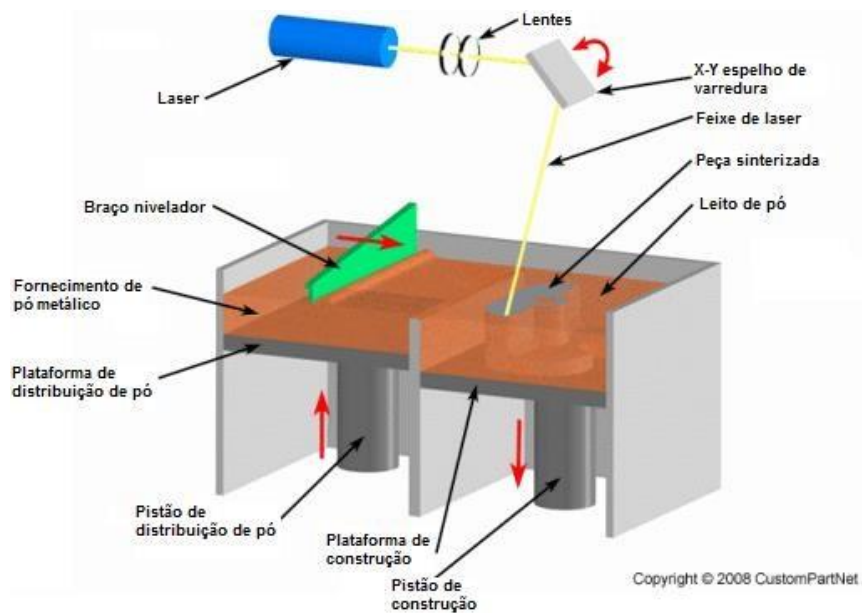
Desta forma, é possível assegurar que o processo que mais se adequa ao nosso estudo é o DMLS, pois a tecnologia atende aos requisitos citados para a fabricação de *hot stabs* cegos: capacidade de fabricação em aço inox AISI 316 e suporta o tamanho da peça, e é a tecnologia que possui as melhores características dentre os processos pré-selecionados.

6.1 DMLS - *Direct Metal Laser Sintering*

A tecnologia DMLS (*Direct Metal Laser Sintering*) ou sinterização direta de metálicos a laser foi desenvolvida inicialmente pela empresa EOS GmbH de Munique, na Alemanha, e se enquadra dentro da classificação “*powder bed fusion*”, da norma ASTM-F2792 (ASTM, 2013), onde um laser de alta potência (geralmente um laser de fibra de Itérbio ou CO₂) funde seletivamente uma região de interesse em um compartimento preenchido com pó metálico. O processo utiliza durante a construção um gás inerte para proteger o banho metálico do oxigênio, minimizando-se assim a oxidação da matéria-prima.

Os equipamentos que utilizam desta tecnologia funcionam da seguinte forma: o pó metálico é nivelado através de um mecanismo de distribuição de material para uma plataforma de construção. Logo em seguida, um feixe do laser de alta potência focaliza seletivamente as áreas de interesse na fina camada de pó e as sinteriza. A mesa desce e o mecanismo de distribuição nivela novamente mais uma fina camada de pó metálico para ser sinterizado. Assim o procedimento se repete sucessivamente até a formação completa do produto. As peças são construídas de forma aditiva camada por camada (VOLPATO, 2007, p. 85).

Figura 6 – funcionamento do processo DMLS



Fonte: adaptado de CustomPart.Net (2014)

De acordo com Volpato (2007, p. 86), seguem algumas vantagens e desvantagens deste processo.

Vantagens:

- Vários tipos de materiais podem ser utilizados com esta tecnologia;
- O processo necessita de pouco pós-processamento;
- Possibilidade de empilhar várias peças no mesmo lote de fabricação;
- É possível a utilização tanto para a fabricação de protótipos quanto na fabricação de peças funcionais, podendo se aproximar bastante das propriedades do produto final;
- Possibilidade de fabricação de peças grandes comparadas aos equipamentos que utilizam da manufatura aditiva atualmente.

Desvantagens:

- Equipamento dedicado a cada tipo de material;
- Custo elevado do equipamento.

Os materiais metálicos utilizados por esta tecnologia incluem ligas de aço, aço inoxidável, aço ferramenta, Inconel 625 e 718, titânio Ti6Al4V, alumínio, bronze e cobalto-cromo.

Teoricamente, qualquer liga metálica pode ser utilizada neste processo (EOS GMBH, 2014).

7 COMPARAÇÃO: PROCESSO ATUAL X DMLS

Quando se deseja analisar a viabilidade de substituição entre processos de fabricação, primeiramente é necessário observar se a tecnologia em estudo é capaz de fabricar peças com características semelhantes ou superiores às peças fabricadas por métodos convencionais.

O objetivo desta seção não é ir a fundo às propriedades atingidas pelo processo de manufatura aditiva, e sim analisar se o processo é capaz de construir peças competitivas às peças fabricadas pelos processos atuais e também levantar parâmetros importantes para se conseguir isto.

Uma característica de peças criadas a partir do processo DMLS é que possuem densidades muito elevadas, o que garante a utilização destes componentes nas mais variadas aplicações em substituição de peças fabricadas pelos processos convencionais (TAKAGAKI, 2012, p. 29).

As propriedades mecânicas e térmicas dependem da densidade do material, esta por sua vez, depende das características dos pós-metálicos, da quantidade de energia fornecida e da velocidade de varredura do laser. Variando estes parâmetros é possível alcançar materiais com melhores propriedades mecânicas e microestruturais (ESPERTO; OSÓRIO, 2008, p. 121).

A potência do laser está diretamente ligada à porosidade encontrada no material produzido por DMLS, quanto menor a potência do laser, menor é a energia absorvida pelo pó durante o processo e conseqüentemente maior será a porosidade na peça sinterizada (LONGHITANO, 2012, p.1).

O material sinterizado por DMLS possui valores de dureza superiores aos observados nos materiais trabalhados a frio, porém é importante constar que esses valores não são verificados nas regiões próximas aos poros. Assim sendo, a dureza tende a aumentar quanto menor for a porosidade do material (GREGOLIN *et al.*, 2012, p. 8).

Quanto maior a densidade de um componente, menor será a porosidade e as propriedades mecânicas e térmicas do material obtido serão melhores. Porém, quanto maior a densidade, maior também serão as tensões residuais, o que pode ocasionar alterações dimensionais de forma ou fissuração da peça obtida. A utilização de pós-metálicos mais finos na construção do sólido resulta em melhora na rugosidade superficial e na resistência mecânica da peça (ESPERTO; OSÓRIO, 2008, p. 121).

O material obtido através do método DMLS possui uma microestrutura mais homogênea quando comparada com o material trabalhado a frio. O material sinterizado possui grãos menores e não apresenta orientação de grãos em uma determinada direção, conferindo propriedades mais uniformes, em contrapartida aos materiais trabalhados a frio que possuem traços de laminação na sua microestrutura (GREGOLIN *et al.*, 2012, p. 8).

Assim, é conhecido que para se obter um bom componente fabricado pelo processo DMLS é importante considerar as características do pó metálico, a velocidade de varredura e um equipamento que possui um laser de alta potência para garantir uma peça com menor porosidade, e conseqüentemente maior dureza, densidade e propriedades mecânicas superiores.

No caso do produto em estudo, é interessante atender estes quesitos de densidade, dureza e homogeneidade do material, pois com isso, é possível realizar a substituição das peças atuais pelas peças produzidas pela manufatura aditiva sem maiores impactos.

Outro ponto importante para uma comparação entre os processos é a geometria da peça. De acordo com Gorni (2001, p. 2), o processo aditivo permite a criação de objetos com características internas complexas, que não podem ser obtidos por outros processos, como a usinagem, pois estes são processos subtrativos, ou seja, que removem material a partir de um único bloco.

A usinagem necessita lidar individualmente com todos os detalhes da peça, o que aumenta o tempo e o custo durante a operação. À medida que a complexidade da peça aumenta, é necessário também aumentar o número de operações e de substituições de ferramentas, além da dificuldade em usinar detalhes profundos, cantos internos retos e ângulos negativos à usinagem (WOHLERS; GRIMM, 2003, p. 1).

Uma vantagem do processo de manufatura aditiva em relação aos processos convencionais de fabricação é que ele não é limitado em relação à geometria das peças, no caso de *hot stabs* cegos isto não influencia tanto, mas quando tratamos de peças com geometrias mais complexas, com canais internos, por exemplo, a manufatura aditiva é superior.

A velocidade de fabricação também é um parâmetro interessante para se comparar entre os dois processos. Como observado, o processo convencional leva em torno de 12 horas para a fabricação de cada *hot stab* cego, já pelo processo DMLS

o tempo para a fabricação de uma unidade deste componente é de aproximadamente 24 horas (Cotação realizada pela empresa EOS GmbH).

Os custos variaram de R\$ 12.000,00 a R\$ 100.000,00 para a fabricação de *hot stabs* cegos pelo processo DMLS. Não foi encontrado nenhum fornecedor nacional que possui equipamento DMLS que suporte a fabricação deste item, sendo necessária a fabricação em países da Europa ou América do Norte.

Tabela 4 – comparação entre fornecedores

Fornecedor	Custo/peça	Nº Peças	Tempo	Tempo/peça
A	R\$ 12.000,00	10	240h	24h
A	R\$ 25.000,00	1	53h	53h
B	R\$ 100.000,00	1	-	-

Fonte: autoria própria (2014)

A usinagem necessitará sempre de “*toolpaths*”, “*set-ups*” e supervisão, mesmo nos equipamentos automatizados, como o CNC, é necessário um operador supervisionando a operação. Porém, isto não garante que a manufatura aditiva será sempre mais rápida que os processos convencionais, ainda mais quando a peça a ser construída não possui geometria complexa. A manufatura aditiva reduz tempo no desenvolvimento de produtos, mas ainda é um processo lento durante a construção, o tamanho da peça tem impacto direto no tempo de execução do processo, ou seja, quanto maior a peça, maior será o tempo de construção (WOHLERS; GRIMM, 2003, p. 3).

A vantagem na velocidade do processo de manufatura aditiva diante do processo convencional é observada quando a peça possui uma complexidade elevada, onde o tempo para fabricação por usinagem é maior. Essa vantagem não foi observada na fabricação do produto em estudo, pois o tempo por DMLS foi muito superior ao processo atual. Isso se deve a geometria simples da peça, que é facilmente fabricada por usinagem, e também ao tamanho elevado do *hot stab* cego, tendo em vista os equipamentos de DMLS atualmente existentes.

Em relação à mão de obra, teoricamente o processo DMLS necessita de apenas um operador para manusear o equipamento, outro para a inspeção dimensional e mais um para dar o acabamento no produto sinterizado, totalizando 3 (três) etapas, em contra partida às 6 (seis) necessárias para o processo convencional.

Exceto para as operações de pós-acabamento, praticamente não é necessário operador nos equipamentos de manufatura aditiva ao longo do processo de fabricação, assim como mão de obra qualificada não é requerida. Já na usinagem, a necessidade de um operador qualificado é crucial, tanto para a concepção dos percursos quanto para as estratégias do processo (WOHLERS; GRIMM, 2003, p. 2-3).

Teoricamente, comparando o processo de fabricação convencional com a manufatura aditiva, é possível perceber uma redução significativa no número de etapas necessárias e no número de mão de obra qualificada para a produção de um *hot stab* cego, conforme Figura 6.

Figura 7 – esquema comparativo: processo atual x processo manufatura aditiva



Fonte: autoria própria (2014)

Porém, é necessário esclarecer que na prática isto difere um pouco da teoria, já que o processo de manufatura aditiva não está completamente maduro e se observa ainda muita tentativa e erro para se obter sucesso na construção de componentes funcionais, ocasionando consequentemente maior tempo durante a operação.

A Tabela 5 apresenta uma comparação entre os dois processos.

Tabela 5 – comparação dos processos

Processo	Nº Etapas	Custo	Tempo
Atual	6	R\$ 1.000,00	12h
DMLS	3	R\$ 12.000,00	24h

Fonte: autoria própria (2014)

8 CONCLUSÕES

Com as análises realizadas neste projeto é possível concluir que o processo de manufatura aditiva com metais no Brasil ainda é uma realidade distante. Apesar de o processo garantir a fabricação de peças altamente competitivas aos processos convencionais, pois atendem aos requisitos do produto em estudo, além de garantir peças homogêneas e com boas propriedades físicas e mecânicas, ainda há grande dificuldade para se encontrar fornecedores nacionais preparados para este tipo de serviço, devido ao tamanho e material da peça, sendo necessária a encomenda a outros países onde esta tecnologia está mais consolidada.

Pode-se observar que a manufatura aditiva não é viável ainda para a produção de *hot stabs* cegos, isto se deve ao fato de que este processo ainda é extremamente voltado à prototipagem e produção em baixa escala, o que justifica o elevado custo do produto, mesmo desperdiçando menos e não necessitando de tantos processos e operadores quanto a fabricação convencional. Com o avanço desta nova tecnologia é natural que haja redução no custo e no tempo, devido ao surgimento de maior concorrência e de equipamentos cada vez mais otimizados e eficientes. O tamanho da peça também é uma variável relevante, o que torna o processo demorado, inviabilizando ainda mais a substituição.

Atualmente o processo de manufatura aditiva é indicado somente para a fabricação de peças funcionais quando o produto possui uma geometria mais complexa, onde há dificuldade ou restrição quanto à fabricação pelos processos atuais. A produção de componente funcional é algo que está começando a evoluir neste mercado, já se pode verificar uma disponibilidade das empresas em fornecer um maior número de peças, porém se tratando de produtos simples de se fabricar, atualmente o custo e o tempo proporcionados por estes novos processos ainda não são páreos para os oferecidos pelos processos convencionais.

REFERÊNCIAS

- 3D SYSTEMS. Disponível em: <<http://www.3dsystems.com>>. Acesso em: 17/04/14.
- AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. **API 17H**: Remotely operated tools and interfaces on subsea production systems. Washington. 2013.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM F2792**: Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies. West Conshohocken. 2013.
- ARCAM AB. Disponível em: <<http://www.arcam.com>>. Acesso em: 18/04/14.
- CUSTOMPART.NET. Disponível em: <<http://www.custompartnet.com>>. Acesso em: 14/06/14.
- DMG MORI. Disponível em: <<http://en.dmgmori.com>>. Acesso em: 20/09/14.
- EOS GMBH. Disponível em: <<http://www.eos.info/en>>. Acesso em: 17/04/14.
- ESPERTO, L.; OSÓRIO, A. Rapid tooling: sinterização directa por laser de metais. **Revista da Associação Portuguesa de Análise Experimental de Tensões**, Lisboa, v. 15, p. 117-124, 2008.
- GORNI, A. Introdução à prototipagem rápida e seus processos. **Revista Plástico Industrial**, São Paulo, p. 230-239, 2001.
- GREGOLIN, R.; LENQUIST, T.; BARBOSA, F.; MORAES, R.; ZAVAGLIA, C.; TOKIMATSU, R. **Comparação entre propriedades mecânicas e microestruturais da liga Ti-6Al-4V, trabalhada a frio versus prototipada por sinterização direta a laser de metal**. Trabalho apresentado no 7. Congresso Latino Americano de Órgãos Artificiais e Biomateriais, Natal, 2012.
- LINO, F.; NETO, R. **A prototipagem rápida na indústria nacional**, Porto, Dezembro 2000.
- LONGHITANO, G.; **Caracterização da liga Ti-6Al-4V produzida por prototipagem rápida**. Trabalho apresentado no 20. Congresso Interno de Iniciação Científica da UNICAMP, Campinas, 2012.
- OPTOMECH. Disponível em: <<http://www.optomech.com>>. Acesso em: 18/04/14.
- ORGANIZAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO PETRÓLEO. **Projeto Fabricação Digital**. Disponível em <<http://www1.onip.org.br/destaquesonip/eventos/fabricacao-digital>>. Acesso em: 06/02/14.
- SLM SOLUTIONS. Disponível em: <<http://stage.slm-solutions.com>>. Acesso em: 20/09/14.

TAKAGAKI, L. Tecnologia de impressão 3D. **Revista Inovação Tecnológica**, São Paulo, v.2, p. 2840, 2012.

VOLPATO, N. **Prototipagem Rápida: tecnologias e aplicações**. São Paulo: Edgard Blucher, 2007.

WIKIPÉDIA. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org>>. Acesso em: 20/09/14.

WOHLERS, T; GRIMM, T. Is CNC Machining Really Better Than RP?. **MoldMaking Technology Online**, Cincinnati, 2003.