

APENDICE C – ENCOMENDAS TECNOLÓGICAS DO EIXO 3: MOLDES DE AREIA PARA FUNDIÇÃO DE GEOMETRIAS COMPLEXAS E BAIXO VOLUME

O projeto a ser financiado neste eixo caracteriza-se por uma ação que visa à consolidação, harmonização e difusão dos atuais conhecimentos, competências e boas práticas já existentes no setor ferramenteiro internacional, buscando nacionalização da tecnologia e difusão de conhecimento. Espera-se criar uma métrica para que resultados quantitativos possam ser medidos em relação ao aumento de competitividade (redução de custos, redução de tempos produtivos, melhoria de qualidade etc.) e que os conhecimentos interdisciplinares relativos à complexidade da temática sejam difundidos de uma maneira holística a todos os *stakeholders* da cadeia.

Este demonstrador será baliza para identificar, entre outros, os gargalos tecnológicos, metodológicos e organizacionais atuais dos processos de fundição de geometrias complexas em moldes de areia. Tais identificações poderão, ao longo do programa, subsidiar novas chamadas públicas para pesquisas e desenvolvimentos relativos à competitividade do setor. Ainda, ao final do programa, ao se avaliarem novas soluções desenvolvidas, espera-se ter uma base de comparação para que possam ser medidos os impactos gerados.

O objetivo geral do projeto demonstrador é ser o ponto de conexão, articulação e compartilhamento de conhecimentos técnicos e científicos gerados pelos ICTs e pesquisadores que atuam nas frentes de trabalho.

A divisão dos temas a serem abordados é feita seguindo-se as 5 fases de desenvolvimento de ferramental já citadas. Abaixo, listam-se as frentes de trabalho, relacionadas ao tema do eixo central:

Fundição de geometrias complexas

Frente 1. Planejamento

Frente 2. Projeto

Frente 3. Construção

Frente 4. Testes

Frente 5. Acabamento

A seguir, os objetivos específicos, resultados esperados e metas de cada frente de trabalho são detalhados.

1. Introdução e objetivos

Na fabricação de componentes fundidos de geometria complexa notadamente na indústria agrícola e de veículos pesados, algumas formas de fabricação, como o forjamento de múltiplos estágios, a usinagem ou a nova tecnologia de manufatura aditiva metálica, tornam-se excessivamente caras e/ou improdutivo para viabilidade da produção. Nesse cenários novas tecnologias e processos surgem para viabilizar estratégias para fundição de formas complexas que tenham baixo volume de produção.

A manufatura aditiva de núcleos de areia permite atacar justamente esse cenário criando uma fundição sem modelo, alterando drasticamente o processo de fundição atual.

Entretanto, o custo de aquisição do equipamento torna ainda impeditiva a adoção por uma única empresa. Nessas condições o ICT proponente será o responsável pela aquisição e introdução da nova tecnologia.

A interface com tecnologias e processos atuais demanda estudo e criação de uma metodologia para disseminação do conhecimento e viabilidade entre as empresas brasileiras.

Nesse sentido deseja-se responder às seguintes perguntas:

- Como adaptar as tecnologias modernas dos processos de fundição para aperfeiçoar a produção de componentes fundidos de geometria complexa?
- Como produzir peças fundidas com maior acerto dimensional, reduzindo custos de usinagem e retrabalhos?
- Como reduzir o tempo total para produção de um componente fundido com alta complexidade de forma e exigência de propriedades mecânicas?
- Como eliminar ou reduzir os defeitos de fundição nas superfícies e partes internas das ferramentas?
- Como redesenhar produtos para utilização total do novo processo?
- Como gerar uma estrutura acessível para que as empresas possam desenvolver novos produtos com a nova tecnologia?
- Como integrar a nova tecnologia com a tecnologia atual?
- Como desenhar métodos que integrem os processos?

Objetivos:

1. Nacionalizar e popularizar as tecnologias de ponta para produção de peças fundidas de baixo volume e alta complexidade geométrica, aumentando a competitividade da cadeia de ferramentaria brasileira.

2. Reproduzir as etapas de planejamento, projeto, construção, testes e acabamento de um molde de areia para fundição de geometrias complexas, descrevendo e detalhando todos os procedimentos adotados, a fim de revelar gargalos e instruir futuras tentativas de replicação dos resultados obtidos.
3. Otimizar a produção de um componente de geometria complexa, não possível de ser produzido pelos métodos tradicionais, viabilizando o processo de fundição em molde de areia produzido por manufatura aditiva e reduzindo o uso de recursos de pós-processamento, tempo de produção e defeitos de fundição.
4. Aprimorar e tornar disponível infraestrutura para projetos de desenvolvimentos de moldes de areia produzidos por manufatura aditiva.

2. Prospecção e planejamento

A prospecção tecnológica pode ser definida como um planejamento sistemático para mapeamento de desenvolvimentos científicos e tecnológicos futuros, capazes de influenciar de forma significativa o planejamento de um produto ou processo de produção. Por meio de métodos quantitativos e qualitativos, os estudos de prospecção avaliam o panorama atual de um determinado setor, identificando aspectos de tecnologias concorrentes e lacunas a serem preenchidas, onde é possível que determinada tecnologia ou suas variações sejam competitivas. Nesse sentido, esses estudos são elementos-chave para o planejamento estratégico de uma empresa, direcionando escolhas e tomadas de decisão com alto potencial de sucesso.

A **meta** desta etapa é elaborar uma prospecção da tecnologia de manufatura aditiva de areias para fabricação de moldes para fundição, comparando-a às outras técnicas de fundição utilizadas no Brasil quanto a:

- Materiais utilizados;
- Tempo de produção;
- Custos
- Problemas operacionais comuns;
- Fornecedores de equipamentos e insumos.

3. Modelamento de fundição

O projeto de uma peça a ser fabricada por fundição deve prever as estruturas auxiliares, como os sistemas de canais de descida e distribuição, massalotes, machos etc. A simulação do processo de fundição em ambiente virtual promove grande agilidade ao estágio de desenvolvimento do componente fundido. Através da construção de modelos de fundição, podem-se variar parâmetros como geometria, temperatura, tempo

e condições do molde, prevendo-se porosidades, contrações, trincas e outros eventuais problemas de maior ou menor gravidade.

A proposição desse demonstrador é validar os conceitos da fundição sem modelo gerando os machos e molde diretamente de um arquivo CAD 3D, e validar a precisão de softwares de simulação de fundição nas condições da nova tecnologia.

A **meta** desta etapa é realizar levantamento de todas as informações relevantes para projetar o componente fundido, valendo-se da nova tecnologia no projeto do componente e selecionando os parâmetros de fundição através de modelos computacionais e reduzindo o número de defeitos previstos no processo de fundição à menor severidade possível.

Deverão ser entregues:

- a. Desenhos 2D e 3D dos componentes fundidos, dos moldes e todos os sistemas de canais, massalotes, machos etc.;
- b. Otimização do produto para o novo processo;
- c. Estudo de Interface entre o novo processo e o processo tradicional;
- d. Estudo de limitações e potenciais do processo;
- e. Análise da precisão da simulação no novo processo;
- f. Temperaturas para fusão e vazamento;
- g. Relatório de simulação, descrevendo:
 - i. Descrição do componente fundido;
 - ii. Dados de entrada;
 - iii. Input (dados de entrada) da simulação (materiais, lubrificantes, forças de conformação, velocidades, etc.);
 - iv. Modelamento;
 - v. Parâmetros de processo;
 - vi. Resultados da correlação com processo;
 - vii. Previsão de contrações e porosidades;
 - viii. Condições de contorno;
 - ix. Steps;
 - x. Descrição da malha de elementos finitos;
 - xi. Resultados da correlação estrutural;
 - xii. Conclusão.

- h. Arquivos de saída dos modelos, contendo cálculos de temperaturas, fluxos, geometria e outros dados a serem utilizados pelas empresas de fundição.

4. Moldagem

A fundição em moldes de areia é a mais usada na produção de peças de aço e de ferro fundido, já que esses moldes são os que costumam suportar melhor as altas temperaturas de fusão. De todos os métodos usados em fundição de areia, a moldagem em areia verde em molde bipartido é o mais simples e o mais empregado, devido ao custo do material boa estabilidade dimensional e flexibilidade das cavidades produzidas. No entanto os moldes bipartidos não têm flexibilidade suficiente em partes de geometria complexa, tais como canais curvos e detalhes internos. Tais problemas têm sido propostos para serem resolvidos através de manufatura aditiva (impressão 3D) de moldes de areia.

Como o nome diz, uma impressora 3D de areia usa um meio de trabalho de materiais semelhantes à areia, incluindo areia de sílica real, cerâmica ou até partículas metálicas. A tecnologia é o chamado *binder jetting*, que usa um polímero aglutinante (resina) para unir as partículas em um modelo físico 3D construído em areia, camada por camada. Isso pode ser usado para produzir produtos ou moldes acabados para que um material alternativo seja fundido.

A **meta** desta etapa é utilizar a tecnologia de manufatura aditiva para contornar as limitações dos moldes de areia bipartidos para produção de componentes de geometria complexa e alta exigência de desempenho, reduzindo defeitos (rechupe, porosidade, trincas, segregação, tamanho de grão etc.) e sobremetal provenientes do processo tradicional. Deverão ser especificados materiais utilizados e o projeto do molde, envolvendo, sempre que necessário, caracterização em laboratório e resultados de modelos físicos e matemáticos.

Ainda dentro da meta deve-se gerar conhecimento sobre a possibilidade de interface entre processo por manufatura aditiva e processos tradicionais para melhor uso das capacidades de cada processo, assim como ajudar no processo de seleção de processo ideal por complexidade e volume de produção.

Esta etapa prevê a aquisição de equipamento para manufatura aditiva de areia com resina. O equipamento deverá ser obrigatoriamente adquirido por e instalado na ICT proponente e deverá ter o uso compartilhado, no método multiusuário, após o término do projeto.

Deverão ser entregues:

- a. Aquisição e implantação do equipamento;

- b. Estudos sobre viabilidade econômica;
- c. Análise da integração do processo em ambiente produtivo;
- d. Análise de interface com outros processos de fundição;
- e. Matriz de seleção de processo por complexidade e volume;
- f. Material aplicado para replicação do processo pelas indústrias brasileiras.

5. Processo de fundição

O processo de fabricação de componentes por meio de fundição tradicional pode ser resumido nas seguintes operações:

- Confecção do modelo;
- Confecção do molde;
- Confecção dos machos;
- Fusão;
- Vazamento;
- Desmoldagem;
- Rebarbação;
- Limpeza.

Cada etapa precisa ser projetada em termos de geometrias, tempo, temperaturas, materiais e outras variáveis que impactam na qualidade ou eficiência do processo como um todo.

A **meta** desta etapa é desenvolver um novo processo a partir da introdução da nova tecnologia estudando os parâmetros conhecidos e desenvolvendo assim um novo procedimento para otimização do uso da tecnologia.

Tais parâmetros poderão ser determinados a partir de informações da literatura, práticas industriais bem estabelecidas, cálculos matemáticos ou simulação computacional.

Deseja-se responder às seguintes perguntas:

- Além da ausência de modelo, quais outras etapas podem ser eliminadas?
- Existem etapas que precisam ser adicionadas?
- Quais os limites do processo?
- Quais os desenvolvimentos necessários?
- Quais os parâmetros para garantir a qualidade do fundido?
- Quais parâmetros de impressão resultam nos melhores ferramentais?

O processo especificado deverá ser reproduzível por empresas de fundição do ramo de ferramentaria, seja com o uso do equipamento compartilhado ou com a instalação de equipamento próprio.

6. Lote protótipo

Após detalhamento das etapas de planejamento, projeto e construção do molde de areia, realizados nas etapas anteriores, a **meta** desta etapa é realizar a repetição, em cadência normal de produção industrial, das etapas de construção de um conjunto de moldes e a sua utilização para fundição de um lote de peças demonstradoras.

Deverão ser contabilizados os custos e tempos envolvidos no processo, identificando os gargalos tecnológicos, metodológicos e organizacionais dos processos. As peças do lote protótipo deverão ser entregues com certificado de qualidade, atestando sanidade das peças, geometria e as demais exigências para utilização do componente reproduzido.

7. Testes e Ensaios

Deve-se estabelecer quais os testes e ensaios necessários para validação do produto e processo garantindo a confiabilidade e estabilidade.

Deseja-se responder às seguintes perguntas:

Os testes convencionais atendem as necessidades do processo?

É necessário criar procedimentos adicionais para garantir a qualidade do processo?

No intuito de otimizar os processos além dessas questões espera-se a integração dos achados nessa etapa no planejamento e projeto de futuras ferramentas valendo-se do reaproveitamento de conhecimento.