

MANUFATURA ADITIVA NA INDÚSTRIA DE PETRÓLEO E GÁS: ESTRATÉGIAS PARA A GESTÃO DE RESÍDUOS DE POLÍMEROS EM PÓ GERADO NA IMPRESSÃO DE COMPONENTES POR MULTI JET FUSION (MJF)

Beatriz Almeida Castro de Souza¹; Rodrigo Santiago Coelho^{1,2}

¹ Centro Universitário SENAI CIMATEC, Programa de pós-graduação MPDS, SENAI CIMATEC, Av. Orlando Gomes, 1845 Piatã, Salvador, 41650-010, Bahia, Brasil; beatriz.castro@fbter.org.br

² Instituto SENAI de inovação em Conformação e União de Materiais (ISI&FJ), SENAI CIMATEC, Av. Orlando Gomes, 1845 Piatã, Salvador, 41650-010, Bahia, Brasil; rodrigo.coelho@fieb.org.br

RESUMO

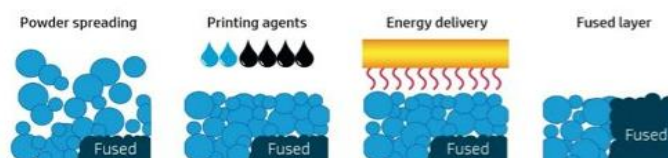
No Processo de Desenvolvimento de Produto (PDP), cresce a importância da gestão de resíduos na produção industrial, especialmente na Manufatura Aditiva de polímeros como PA12 e PP na indústria de petróleo e gás. Este estudo analisa a geração de resíduos durante o processo de jateamento, revelando uma média de 7,37% de rejeitos. Propõe-se o reaproveitamento desses resíduos na fabricação de filamentos para impressoras FDM, alinhando-se a objetivos ambientais e sociais. Essa abordagem sustentável não só promove eficiência econômica, mas também apoia os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, destacando-se a necessidade de técnicas viáveis para reintegrar materiais descartados em outros processos fabris.

PALAVRAS-CHAVE: Redução de resíduos, Manufatura Aditiva, Polímeros, Petróleo e gás.

1. INTRODUÇÃO

A manufatura aditiva, também conhecida como impressão 3D, é uma tecnologia que constrói objetos camada por camada.¹ O processo Multi Jet Fusion (MJF) é uma técnica dentro dessa área, onde a fusão seletiva de pó polimérico cria peças complexas. Esse processo constrói a peça de forma gradual, camada por camada², como ilustrado na Figura 1

Figura 1. Processo de fusão do material³



Após a fabricação das peças, o pós-processamento de jateamento é necessário para remover resíduos de pó. No entanto, esses resíduos são descartados, apesar de seu potencial de reutilização, levantando preocupações ambientais.⁴ Este estudo busca analisar o fluxo de fabricação de uma máquina MJF, quantificar os resíduos gerados e propor seu reaproveitamento, como extrusão em filamentos poliméricos para impressoras FDM.⁵

2. METODOLOGIA

O estudo adota quatro fases para avaliar a gestão de resíduos. Começa analisando o fluxo de produção para identificar a origem dos rejeitos, estabelece a frequência de coleta, realiza a coleta e pesagem dos resíduos para calcular o peso médio, e finalmente quantifica-os para determinar a porcentagem. Este método permite uma avaliação completa da gestão de resíduos na produção.

2.1 Análise do Fluxo de Produção e Definição da Periodicidade da Coleta

Durante a análise do fluxo de produção, o volume das cubas varia conforme a quantidade de material processado. Após essa etapa, todas as peças são jateadas para remover material impregnado, resultando em resíduos combinados de microesferas de vidro, PP e PA12. Estabeleceu-se um período de medição amplo, geralmente a cada 15 dias, com três coletas planejadas em momentos diferentes para uma análise abrangente, conforme a Tabela 1.

Tabela 1. Período de coleta

Nº da coleta	Dia da coleta	Quantidades de cubas
1	26/12/2023	8
2	09/01/2024	7
3	23/01/2024	12

2.2 Coleta e Pesagem dos Resíduos

Durante o período determinado, os resíduos foram coletados e medidos após serem removidos manualmente do reservatório através da abertura da válvula traseira. Em seguida, os resíduos foram colocados em sacos plásticos e pesados com uma balança específica. Posteriormente, foram encaminhados para reciclagem.

2.3 Quantificando resíduos

Os resíduos coletados foram quantificados com base na porcentagem identificada em cada coleta. Para isso, calculou-se a massa em quilogramas de cada cuba no processo, levando em conta as dimensões da cuba de impressão e a densidade do material em pó, conforme especificado na Tabela 2.

Tabela 2. Dimensões da cuba de impressão

Material	Dimensões da cuba	Densidade do material
Polipropileno (PP)	Comprimento = 380 mm Profundidade= 284 mm Altura = 370 mm	0,87 g/cm ³
Poliamida 12 (PA12)	Comprimento = 380 mm Profundidade= 284 mm Altura = 380 mm	1,01 g/cm ³

O cálculo da massa do polímero utilizado para a impressão foi realizado pela Equação 1, considerando que a cuba estava completamente cheia de matéria-prima durante as impressões, onde:

Equação 1

$$Massa = Vol \times d$$

Onde, *Vol*: Volume da cuba de impressão;
d: Densidade do polímero em pó.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em cada coleta, variações nos resultados foram observadas devido ao dimensionamento e geometria das peças. Peças com furações ou menor densidade acumularam mais material em determinadas regiões, impactando o aumento dos resíduos. As coletas foram separadas em dois sacos e pesadas individualmente. A aplicação da Equação 1 permitiu obter a porcentagem de resíduos gerados, como mostrado na Tabela 3.

Tabela 3. Quantificação de resíduos gerados

Coleta	Percentual de resíduos	Kg de Resíduos	Material
1	12,15%	26,7	PP, PA, Microesfera de vidro
2	5,71%	12,8	PA e Microesfera de vidro
3	4,25%	13,7	PA, CBPA12, PP e Microesfera de vidro

A quantidade média de resíduos foi de $17,7 \pm 7,8$ kg, sugerindo a viabilidade de submetê-los à extrusão para produção de filamentos. Esses filamentos podem ser usados na fabricação rápida de peças para a indústria de óleo e gás por meio do método Fused Deposition Modeling (FDM),⁵ promovendo uma gestão eficaz de resíduos e impulsionando a inovação e sustentabilidade na indústria. O reaproveitamento dos resíduos de PA12 na manufatura aditiva alinha-se aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), contribuindo para práticas sustentáveis no setor de petróleo e gás.⁶

A redução de resíduos na manufatura aditiva não apenas beneficia o meio ambiente, mas também impulsiona o crescimento econômico e a inovação tecnológica, alinhando-se aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável e promovendo um futuro mais sustentável e próspero.⁷

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O reaproveitamento de materiais para a geração de filamentos por extrusão oferece uma solução sustentável e eficaz para a indústria de óleo e gás. Ao utilizar esses filamentos no método de manufatura aditiva por Fused Deposition Modeling (FDM), é possível produzir peças de rápida reposição, contribuindo para a redução de resíduos e custos, ao mesmo tempo em que atende às demandas dinâmicas e específicas desse setor altamente exigente. Essa abordagem não apenas promove a eficiência na produção, mas também ressalta a importância da inovação e da responsabilidade ambiental na busca por soluções viáveis e sustentáveis na indústria.

Agradecimentos

"Agradecimentos à Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), ao Programa de Recursos Humanos da ANP (PRH 27.1), à FINEP, gestora do programa, e ao SENAI CIMATEC."

5. REFERÊNCIAS

- ¹ Ngo, T. D., Kashani, A., Imbalzano, G., Nguyen, K. T. Q., & Hui, D. **Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges**. In Composites Part B: Engineering, 2018.
- ² ABBOTT, C. S.; SPERRY, M.; CRANE, N. B. **Relationships between porosity and mechanical properties of polyamide 12 parts produced using the laser sintering and multi-jet fusion powder bed fusion processes**. Journal of Manufacturing Processes, 2021.
- ³ HP, **A disruptive 3D printing technology for a new era of manufacturing**, 2018.
- ⁴ Li, P., Wang, X., Su, M., Zou, X., Duan, L., & Zhang, H. **Characteristics of Plastic Pollution in the Environment: A Review**. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 2021.
- ⁵ Kumar, S., & Czekanski, A. **Development of filaments using selective laser sintering waste powder**. Journal of Cleaner Production, 2017.
- ⁶ Shanmugam, V., Das, O., Neisiany, R. E., Babu, K., Singh, S., Hedenqvist, M. S., Berto, F., & Ramakrishna, S. **Polymer Recycling in Additive Manufacturing: an Opportunity for the Circular Economy**. Materials Circular Economy, 2020.
- ⁷ KHALID, M.; PENG, Q. **Sustainability and Environmental Impact of Additive Manufacturing: A Literature Review**. CAD'20, 2020.