

Implementação de um Sistema Digital Integrado para Controle de Processos em um laboratório de Manufatura Aditiva

**Gabriel L. Pirotello^{1,2}, Leonardo M. R. Machado¹, Gabriella Colussi Ferreira^{1,2},
Marcelo F. Oliveira¹**

{gpirotello, lmachado, gcferreira, marcelo.oliveira}@cti.org.br

**¹Laboratório Aberto de Impressão 3D/Divisão de Tecnologia para
Produção e Saúde - LApriint/DITPS
CTI Renato Archer/MCTI – Campinas/SP**

**²Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologia (CEATEC)
Pontifícia Universidade Católica de Campinas (PUC-Campinas) –
Campinas/SP**

Abstract.

The increasing complexity of products has required companies to make substantial changes to their development process, mainly with a view to increase the final quality of the product and reduce manufacturing time. In this scenario, additive manufacturing (AM) stands out as an innovative technology capable of meeting these demands and enabling the creation of complex and customized geometries. In order to optimize this process and maintain the high quality expected, the implementation of an integrated digital system is essential. With this in mind, the aim of this study was to develop and implement such a system in an MA laboratory, using online platforms that allow real time access and collaboration. The results showed significant improvements in process traceability and machine maintenance efficiency, contributing to equipment durability and product excellence.

Resumo.

A crescente complexibilidade dos produtos tem exigido das empresas alterações substanciais no seu processo de desenvolvimento, principalmente visando aumentar a qualidade final do produto e reduzir o seu tempo de fabricação. Nesse cenário, a manufatura aditiva (MA) se destaca como uma tecnologia inovadora capaz de atender a essas demandas e permitir a criação de geometrias complexas e personalizadas, desta forma, para assegurar a otimização desse processo e manter a alta qualidade esperada, a implementação de um sistema digital integrado revela-se imprescindível. Diante disso, o presente estudo teve como objetivo desenvolver e implementar tal sistema em um laboratório de MA, utilizando plataformas online que permitem o acesso e colaboração em tempo real. Os resultados demonstraram melhorias significativas na rastreabilidade dos processos e na eficiência da manutenção das máquinas, contribuindo para a durabilidade dos equipamentos e a excelência dos produtos.

1. Introdução

A Manufatura aditiva (MA), comumente referida como impressão 3D, constitui uma das mais significativas revoluções tecnológicas contemporâneas por transformar radicalmente a forma como os produtos são projetados, desenvolvidos e fabricados. Em contraste com os métodos tradicionais de manufatura, que implicam a remoção do material a partir de um bloco maior, a manufatura aditiva constrói objetos camada por camada a partir de modelos digitais. Essa abordagem permite a criação de geometrias complexas e altamente personalizadas que seriam inviáveis ou economicamente proibitivas com técnicas convencionais, desta forma, essa flexibilidade e capacidade de personalização têm impulsionado a sua adoção em setores diversos como aeroespacial, automotivo e médico [1].

Com o aumento da complexidade e do número de aplicações da MA, garantir a qualidade e a consistência dos produtos finais tornou-se uma prioridade. Neste contexto, o controle de processos desempenha um papel crucial, visto que um monitoramento rigoroso se torna essencial para assegurar que cada peça produzida atenda às especificações exigidas e mantenha a alta qualidade esperada [2]. Isso demanda não apenas a monitorização dos parâmetros operacionais durante a produção, mas também o registro e a análise dos históricos de uso das máquinas, ciclos de carregamento de material, procedimentos de limpeza e ocorrências de erros [3]. A utilização de QR Codes emerge como uma abordagem eficaz para aprimorar esse controle, por fornecer um meio prático e eficiente de acessar informações detalhadas e atualizadas sobre os processos e o histórico das máquinas. Ao escaneá-lo, os operadores podem acessar instantaneamente planilhas que documentam cada aspecto da operação das máquinas, desde os tempos de operação e manutenção até os incidentes de falhas e intervenções de limpeza. A digitalização e centralização das informações melhoram a eficiência operacional e reduzem o tempo necessário para registrar e consultar dados, além de aumentar a precisão dos registros e minimizar a ocorrência de erros humanos [4].

Para a realização deste estudo as ferramentas Google Sheets, Google Forms e Looker Studio foram utilizadas com o objetivo de aprimorar a gestão e o monitoramento dos processos dentro do laboratório, permitindo acesso instantâneo e em diferentes dispositivos sem a necessidade de instalar múltiplos softwares. A implementação dessas ferramentas fornece diversos benefícios dentro do setor no qual foi implantada, pois facilitam a manutenção preventiva ao permitir que padrões de uso e sinais de desgaste sejam identificados antecipadamente, evitando falhas inesperadas e prolongando a vida útil das máquinas. Na Figura 1, é possível observar o fluxo completo do processo de impressão, desde a fase de planejamento até o pós-processamento dos modelos. Esta visualização reforça a importância de uma abordagem sistemática de controle de processos, onde cada etapa é rigorosamente documentada para garantir a rastreabilidade e a eficiência operacional.

Desta forma, a integração dessas ferramentas para o controle de processos, contribui significativamente para a otimização operacional, assegurando que a produção se mantenha eficiente, precisa e conforme os mais altos padrões de qualidade. Este artigo explora detalhadamente como essa tecnologia pode ser implementada e os

benefícios resultantes, oferecendo um modelo robusto para outros laboratórios e indústrias que busquem aprimorar seus processos de manufatura aditiva.

2. Materiais e Métodos

2.1. Materiais

O método desenvolvido neste artigo foi implementado no laboratório de manufatura aditiva (LaPrint) do Centro de Tecnologia e Informação (CTI) Renato Archer, a tecnologia escolhida para a aplicação e análise dos resultados foi a impressora por leito de pó (SLS/Sinterstation HiQ, 3D System®) [5][7], devido à existência de grande demanda de produção e à necessidade frequente de manutenção, características que a tornam ideal para avaliar a eficácia do sistema proposto.

2.2. Métodos

Para a implementação do sistema de controle de processos dentro do laboratório, empregou-se um conjunto de ferramentas digitais integradas com o objetivo de coletar, organizar e visualizar dados de maneira sistemática e eficaz. O primeiro passo a ser seguido é entender as necessidades do laboratório e as demandas que cada equipamento exige, neste estudo foi levado em consideração a Sinterstation HiQ SLS 3D. O entendimento integral do processo da máquina é imperativo para a eficácia desta aplicação, pois é nesta etapa que são definidas quais respostas serão exigidas dos usuários. No laboratório implementado, foi estabelecida a necessidade dos operadores anotarem informações cruciais, tais como o nome do responsável pela operação, etiqueta do build processado, data de execução e a ocorrência de manutenções ou erros.

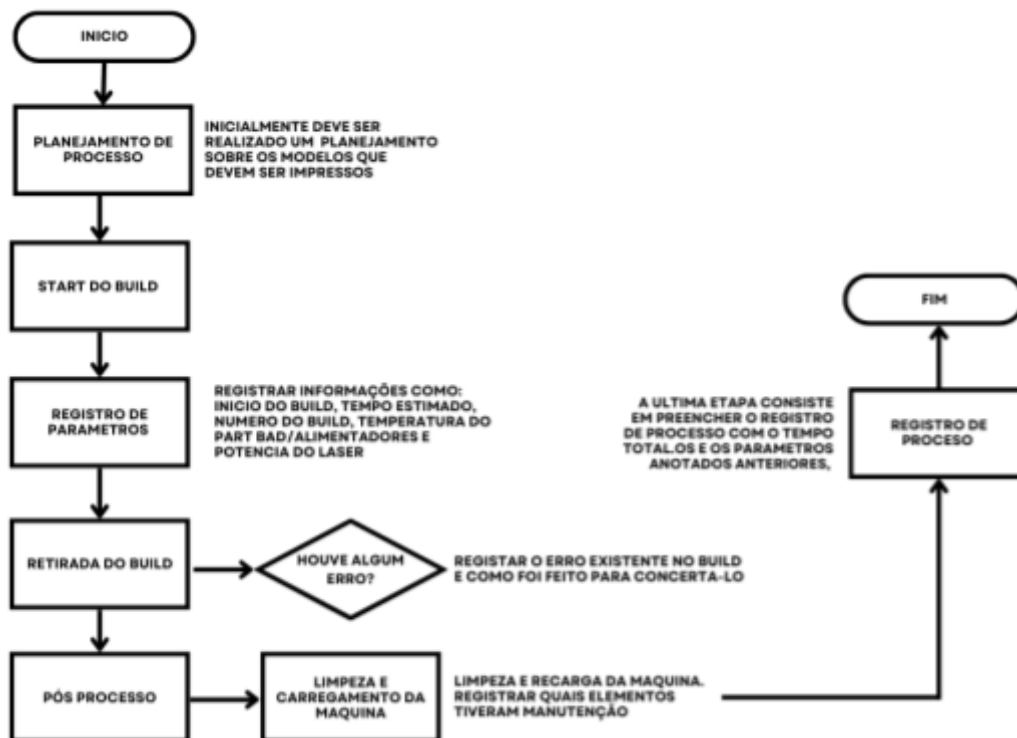


Figura 1. Processo de impressão HiQ SLS

Esse registro sistemático é fundamental para a rápida localização de operações anteriores e a identificação de erros recorrentes, além de fornecer um histórico detalhado das manutenções e limpezas realizadas nas máquinas. Esses dados são indispensáveis para assegurar que o equipamento permaneça em pleno funcionamento e mantenha a qualidade de impressão exigida [4]. Na Figura 1, é possível observar o funcionamento da HiQ SLS, desde a fase de planejamento até o pós-processamento dos modelos, o que evidencia a importância de se manter registros detalhados em cada etapa do processo, garantindo a rastreabilidade e a eficiência operacional.

2.2..1 Desenvolvimento do formulário

O Google Forms foi escolhido para este estudo devido à sua conectividade com outras plataformas Google, além de sua reconhecida facilidade de uso para os operadores. Após a definição das informações essenciais a serem solicitadas aos usuários, iniciou-se o processo de elaboração do formulário, visando à obtenção dos dados de maneira eficiente e prática. A utilização do recurso de múltipla escolha foi estrategicamente adotada para permitir que os operadores preencham os campos de forma rápida e precisa, minimizando a possibilidade de erros ortográficos e garantindo a uniformidade dos dados coletados



Sinterstation HiQ SLS

Ficha Técnica

Laser & Scanning
Sistema HiQ™ laser de CO2 de 30 watts com sistema de entrega de feixe (BDS) padrão a uma velocidade máxima de varredura de 5 m/s (aproximadamente 200 pol./seg.)

Build Volume
W381 x D330 x H457 mm (aprox. L15 x P13 x A18 pol.) (XYZ) 57 litros.

System Controller & Software
Sistema operacional Windows XP. Formato de arquivo de dados de entrada ".stl".

Power
Sistema 240 VCA 12,5 kVA, 50/60 Hz, trifásico; 380 VCA 12,5 kVA, 50/60 Hz, trifásico.

Ambient Atmosphere
Operating temperature range 16-27°C (60-80°F); Temperature setpoint range 18-24°C (65-75°F); Temperature stability ± 2°C (± 5°F); Relative Humidity <70% sem condensação

producaolaprint@gmail.com [Mudar de conta](#)

✉ Não compartilhado

* Indica uma pergunta obrigatória

Qual processo esta sendo feito? *

☐ Start Build

☐ Escala

☐ Outro: _____

Status

☐ Finalizado

☐ Operante

Responsável *

☐ Danilo Polty

☐ Gabriel Lizzi

☐ Gabriela Colussi

☐ Leonardo Machado

☐ Marcelo Oliveria

☐ Outro: _____

Houve Manutenção ?

☐ Dressagem do rolo

☐ Limpeza da lente

☐ Limpeza da maquina

☐ Limpeza do filtro

☐ Outro: _____

Figura 2. Formulário de parâmetros da HiQ

O Google Forms oferece a funcionalidade de exportar automaticamente as respostas para o Google Sheets, esse recurso permite que os dados coletados sejam facilmente transferidos para uma planilha, onde é possível tratá-los e reorganizá-los, pois esse processo de reestruturação dos dados é fundamental para assegurar que as informações sejam exibidas de maneira organizada e intuitiva, facilitando a análise e a interpretação dos usuários.

Numero do Build	Data do Processo	Qual processo esta sendo feito?	Status	Responsável	Houve Manutenção ?
HIQ1255	25/07/2024	Start Build	Finalizado	Gabriel Lizzi	
HIQ1256	28/07/2024	Start Build	Finalizado	Leonardo Machado	Limpeza da maquina
HIQ1257	02/08/2024	Start Build	Finalizado	Marcelo Oliveria	Limpeza da lente, Limpeza da maquina
HIQ1258	12/08/2024	Start Build	Finalizado	Gabriel Lizzi, Gabriela Colussi	Dressagem do rolo
	13/08/2024	Escala	Operante	Gabriella Colussi, Leonardo Machado	Dressagem do rolo, Limpeza da lente, Limpeza da maquina.
HIQ1259	15/08/2024	Start Build	Finalizado	Gabriel Lizzi, Gabriela Colussi	Limpeza da lente, Limpeza da maquina

Figure 3. Tabela gerada e reorganizada do formulário

2.2.2. Desenvolvimento do Dashboard

Para a exibição dos dados coletados, foi utilizada a plataforma Looker Studio, uma ferramenta de visualização de dados que permite a criação de dashboards interativos e personalizados, que facilita a integração com diversas fontes de dados, como o Google Sheets, permitindo a transformação de informações brutas em visualizações gráficas compreensíveis e esteticamente agradáveis. Neste estudo, foi possível desenvolver um dashboard que integra a tabela previamente organizada e criar gráficos que destacam informações cruciais para a análise dos processos de manufatura aditiva. A utilização de gráficos, como os que ilustram as manutenções mais frequentes, o número de processos realizados, e os procedimentos de limpeza, é de suma importância, pois permitem uma compreensão rápida e visual das tendências e padrões operacionais, facilitando a identificação de áreas que necessitam de atenção, planejamento de manutenções preventivas, e a otimização do desempenho das máquinas. Assim, a visualização gráfica contribui significativamente para a melhoria da eficiência operacional e para a tomada de decisões mais informadas.

3. Resultados e discussões

Os resultados obtidos a partir da implementação das ferramentas digitais integradas no laboratório de manufatura aditiva revelam importantes insights sobre a eficácia dos processos operacionais monitorados. Por meio de uma análise minuciosa dos dados, inicialmente coletados no Google Forms, submetidos a tratamento e organização no Google Sheets, e subsequentemente visualizados através do dashboard do Looker Studio, permitiu a identificação de padrões recorrentes, a otimização da gestão de manutenção das máquinas e a consequente elevação da qualidade dos produtos finais. O primeiro resultado obtido foi a rastreabilidade aprimorada dos processos, ou seja, um registro detalhado das operações com informações do nome do responsável, etiqueta do build, datas de manutenção e limpeza, facilitou a rápida localização de operações anteriores e a identificação de erros recorrentes. Esse nível de detalhamento não só melhorou a capacidade de resposta às falhas, mas também auxiliou no armazenamento de informações que antes eram perdidas quando registradas à mão pelos operadores.

3.1. Google Forms

O formulário desenvolvido demonstra uma eficácia significativa ao permitir que os operadores registrem informações essenciais de maneira prática e sistemática, garantindo que esses dados sejam prontamente armazenados e organizados em planilhas eletrônicas. Com o intuito de maximizar a eficiência dessa ferramenta, foi adotada a estratégia de incorporar o recurso de múltipla escolha, o que não apenas facilitou o processo de preenchimento, mas também mitigou a possibilidade de interferências oriundas de erros ortográficos nos resultados obtidos. Essa abordagem estruturada assegura a precisão e a consistência dos dados coletados, reforçando a confiabilidade das informações processadas e proporcionando uma base sólida para análises subsequentes.



Figure 4. Qr Code linkado ao Google Forms

3.2. Dashboard

O dashboard foi elaborado para que o usuário tenha acesso às informações de forma intuitiva e rápida, sendo assim, ao escanear o Qr Code é encaminhado diretamente para um painel com o total de processos rodados, bem como o registro completo da data, responsável, qual tipo de processo e manutenções realizadas. Também foram adicionados dois mecanismos de pesquisa, ao lado esquerdo é possível realizar uma busca de informações específicas para cada processo selecionado. No outro, o usuário consegue coletar o registro de processos de um determinado período escolhido.

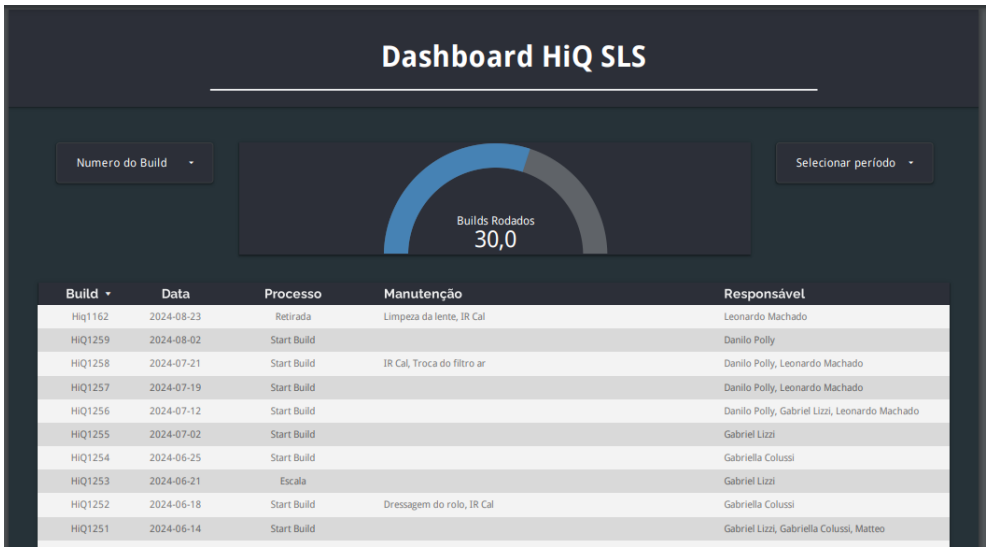


Figura 5. Dashboard

A segunda aba do dashboard foi projetada para apresentar os gráficos resultantes dos dados coletados, proporcionando uma visualização clara e direta das informações. Foi empregado um gráfico de barras para ilustrar o número de procedimentos de manutenção, permitindo uma análise rápida e eficiente das áreas que demandam maior atenção por parte dos operadores. Além disso, um gráfico de pizza foi utilizado para identificar os responsáveis que se destacam nos processos realizados, oferecendo uma visão comparativa das contribuições individuais. Com o intuito de facilitar o acesso e a disseminação dessas informações, foi adicionado um botão que permite o download de um relatório completo (com senha ou não), contendo todas as informações, tabelas e gráficos em formato PDF.



Figura 6. Aba dos gráficos

A última aba do dashboard foi projetada para fornecer aos usuários acesso completo ao histórico de erros das máquinas, juntamente com as soluções adotadas pelos operadores para resolvê-los. Esse recurso além de centralizar as informações críticas sobre falhas anteriores, também cria um banco de dados robusto que serve como referência para futuros operadores, potencializando a capacidade de resolução de problemas e minimizando o tempo de inatividade, garantindo assim, a continuidade das operações sem interrupções desnecessárias.

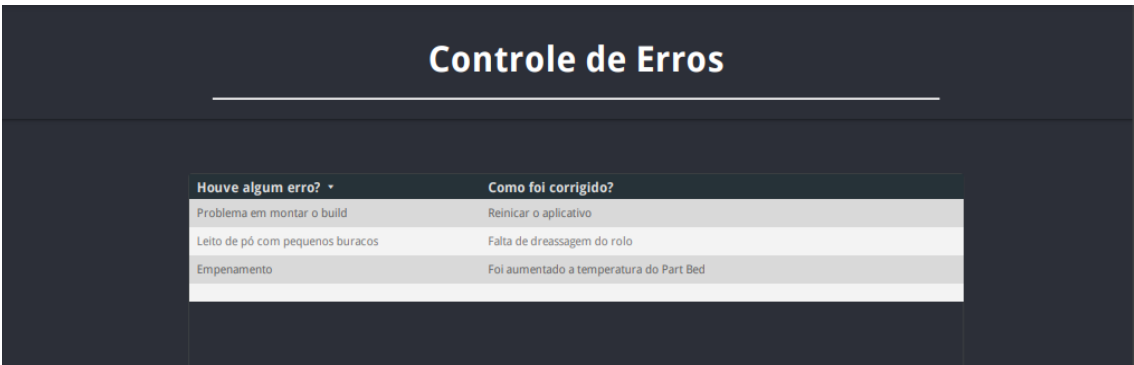


Figura 7. Aba do Histórico de Erros.

Os resultados deste estudo confirmam a eficácia do sistema digital integrado implementado para o controle de processos na manufatura aditiva, evidenciando melhorias significativas na eficiência operacional e na manutenção preventiva. A utilização de gráficos no dashboard facilitou a identificação de áreas críticas, enquanto o registro detalhado de erros e soluções criou um valioso banco de dados para a resolução ágil de problemas futuros. O monitoramento contínuo permitiu a detecção precoce de manutenções preventivas, prolongando a vida útil dos equipamentos e minimizando o tempo de inatividade, consolidando a confiabilidade e a operacionalidade das máquinas no laboratório.

4. Conclusão

A manufatura aditiva permite criar geometrias complexas e personalizadas, porém requer um rigoroso controle de processos para garantir a consistência e a excelência dos produtos finais. Nesse contexto, a utilização de QR Codes, aliados às ferramentas Google Sheets, Google Forms e Looker Studio, proporcionou uma abordagem metódica e eficiente para o monitoramento contínuo, a centralização dos registros e a visualização analítica dos dados operacionais. Os resultados demonstraram que essa metodologia não só aprimorou a eficiência e a confiabilidade dos processos, como também possibilitou a detecção precoce de falhas e a execução de manutenções preventivas, elementos cruciais para a longevidade dos equipamentos e para a continuidade produtiva. Assim, este estudo não apenas confirma a viabilidade do uso de tecnologias digitais no controle de processos de manufatura aditiva, como também estabelece um modelo replicável para outros laboratórios e indústrias que almejam elevar seus padrões operacionais e assegurar a integridade de suas produções.

4. Agradecimentos

Agradeço a todos que contribuíram para a realização deste estudo, especialmente aos colegas do CTI, cuja disposição em compartilhar conhecimento foi essencial ao desenvolvimento do trabalho. Reconheço também a orientação recebida, que proporcionou uma base sólida para ampliar minha compreensão sobre a manufatura aditiva e seu impacto no futuro da tecnologia.

Referencia

- [1] Q. Fang et al., "Process Monitoring, Diagnosis and Control of Additive Manufacturing," in IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, vol. 21, no. 1, pp. 1041-1067, Jan. 2024, doi: 10.1109/TASE.2022.3215258. https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9950053?casa_token=9ltgwgk7HhUAAAAA:rzcgWyCZRQwRxJwX5d7sBAye-ru5L1ZlxA36bsqFoePBCMr15Z37NrP7J_0dXJVk_2ABfUek7GdC8Rs
- [2] Y. Huang, M. C. Leu, J. Mazumder and A. Dönmez, "Additive Manufacturing: Current State, Future Potential, Gaps and Needs, and Recommendations".
- [3] F. Hardt, M. Kotyrba, E. Volná and R. Jarušek, "Innovative Approach to Preventive Maintenance of Production Equipment Based on a Modified TPM Methodology for Industry 4.0".
- [4] F. Sudarto, D. Martono and R. A. D. Hartatik, "QR Code As the Delivery of Information to Universities".
- [5] 3D Systems. "Sinterização a laser seletivo (SLS)", <https://br.3dsystems.com/selective-laser-sintering>.
- [6] GE Additive. "Electron Beam Melting (EBM)", <https://www.ge.com/additive/ebm>.
- [7] 3D Systems. "DuraFormR PA Plastic – Material Datasheet." (2010), www.3dsystems.com/sites/default/files/2017-03/3D-Systems.

[8] Google. Google Sheets. Disponível em: <https://www.google.com/sheets/about/>.

[9] GOOGLE. Google Forms. Disponível em: <https://www.google.com/forms/about/>.

[10] GOOGLE. Looker Studio. Disponível em: <https://lookerstudio.google.com/>.