



## Processos técnicos de fabricação na área espacial

COSTA, A. S.<sup>1</sup>, PERONDI, L. F.<sup>2</sup>, MAY, J. E.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, Brasil  
Aluno de Mestrado do curso de Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais - CSE/ETE.

<sup>2</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, Brasil  
Divisão de Materiais – CGETE/ETE

<sup>3</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, Brasil  
Engenharia do Produto – SESEQ/ETE

eng.amauri.costa@live.com

---

### Resumo.

O trabalho versa sobre processos técnicos utilizados na fabricação de sistemas espaciais. Este tema surge da proposta de desenvolvimento de um padrão de referência para processos técnicos de fabricação, utilizados em programas da área espacial no país. Embora normas e padrões brasileiros, como os da ABNT, abordem o tema *processos*, inexistiu um tratamento específico para processos técnicos de fabricação na área espacial. Serão apresentadas propostas para a padronização, identificação e classificação de *processos técnicos de fabricação*. O artigo abordará, também, o estado da arte do controle e do uso de *processos técnicos de fabricação* no âmbito da área espacial.

---

**Palavras-chave:** Processos técnicos de fabricação; Fabricação de sistemas espaciais; Processos de manufatura.

### 1. Introdução

Na área espacial, de modo a garantir a confiabilidade do modelo de voo de um dado equipamento ou sistema, faz-se o uso de modelos de verificação, específicos a cada fase de desenvolvimento do produto, os quais são, normalmente, denominados de modelo de engenharia, utilizado na verificação da conformidade funcional do item projetado, e o modelo de qualificação, utilizado na verificação da conformidade funcional e ambiental do item projetado.

Demonstrada a conformidade dos modelos de engenharia e de qualificação, procede-se à fabricação do modelo de voo, o qual deve ser equivalente, funcional e construtivamente, ao modelo de qualificação. Para tanto, entre outras ações, faz-se necessário o controle dos



processos de fabricação, cuja reprodutibilidade é essencial para que seja garantida a reprodutibilidade construtiva e funcional do modelo de voo, acima aludida.

Na fase de projeto preliminar, além do desenvolvimento dos desenhos do item projetado, efetua-se a definição e seleção de partes e materiais. O modelo de engenharia é, normalmente, construído com partes e materiais equivalentes a partes e materiais com qualificação espacial.

Demonstrada a qualificação funcional, o próximo passo consiste na implementação de processos de fabricação para produzir o modelo de qualificação. Após demonstrar que o produto projetado e qualificado atende os requisitos ambientais definidos para a missão, é fabricado o modelo de voo, que, espera-se, seja equivalente ao modelo de qualificação.

De forma a implementar esta sistemática, faz-se necessário, como parte do projeto, o desenvolvimento de um diagrama de fabricação para cada equipamento, contendo todos os processos necessários à fabricação do equipamento em referência. Mais especificamente, o diagrama de fabricação conterá a relação completa de partes e materiais e de todas as operações, organizadas na forma de processos, necessárias à transformação de partes e materiais no equipamento correspondente.

O controle de processos de fabricação, durante a execução do projeto, envolve, entre outras atividades, a qualificação dos processos de fabricação utilizados em um dado projeto. Essencialmente, a qualificação de um processo consiste na demonstração de que um dado processo atende todos os requisitos pertinentes e é reprodutível a partir de uma definição de partes e materiais de entrada, uma descrição do passo-a-passo para execução do processo, uma definição de setup, incluindo o ferramental, e o treinamento de operadores.

Com base no tratamento dedicado a processos de fabricação, tanto por Groover (2010), no âmbito industrial em geral, quanto pela Agência Espacial Europeia (ESA), no âmbito de aplicações espaciais, somado com conhecimentos a partir de outras normas e padrões, tais como INCOSE e PMBOK, serão apresentados resultados parciais sobre propostas de padronização, identificação e classificação de processos técnicos de fabricação na área espacial, com possível aproveitamento em projetos do programa espacial brasileiro. Buscar-se-á, também, apresentar uma breve descrição do estado da arte relativo ao controle e uso de processos técnicos de fabricação no âmbito da área espacial.

## **2. Metodologia**

O desenvolvimento deste trabalho envolveu a leitura, o estudo e a assimilação de conceitos e boas práticas de processos técnicos de fabricação, conforme tratado por Groover e pelos padrões ECSS, PMBOK e INCOSE.



### 3. Resultados e Discussão

Em uma organização, há diferentes tipos de processos e, particularmente, na área espacial, os processos normalmente são divididos entre *técnicos*, *gerenciais* e de *apoio ou administrativos*, conforme mostrado na Tabela 1 (GONDO, 2012; ABPMP, 2013).

Tabela 1– Características de processos técnicos, gerenciais e de apoio ou administrativos. (Fonte: Adaptado de GONDO, 2012 e ABPMP, 2013)

Grupo de Processos	Características
<b>Técnicos</b>	Podem ser chamados de <i>primários</i> ou <i>finalísticos</i> . São aqueles que afetam diretamente a fabricação de sistemas espaciais, ou seja, que fazem parte das atividades de manufatura dos equipamentos em si e de suas partes.
<b>Gerenciais</b>	São independentes das áreas de aplicação e são utilizados na coordenação das atividades de apoio e dos demais processos como controle de cronograma, contabilidade, revisões técnicas, e outros.
<b>De Apoio ou administrativos</b>	Podem ser chamados de <i>suporte</i> . São os que colaboram com os demais processos na busca de sucesso do produto final.

Os processos gerenciais estão detalhadamente descritos no padrão PMBOK (2017). Embora sejam considerados importantes em uma organização, os processos gerenciais e os processos de apoio ou administrativos não serão abordados neste trabalho. O foco deste artigo estará na abordagem de processos técnicos de fabricação utilizados na área espacial.

#### 3.1 Definição de processo técnico de fabricação

Dentre diversas definições de processo encontradas na literatura, optamos por uma combinação das definições apresentadas em INCOSE (2015) e Groover (2010) para descrever um *processo técnico de fabricação* como um “... conjunto integrado de atividades que transforma entradas em saídas desejadas ...” com agregação de valor. Este conjunto de atividades consiste em “... ações que causam mudanças físicas e/ou químicas no material de trabalho ...”.

A execução integral do conjunto de processos técnicos necessários para a fabricação corresponde à transformação de partes e materiais no produto finalizado.

##### 3.1.1 Elementos de um processo técnico de fabricação

Conforme INCOSE (2015), é proposto que processos sejam organizados através da definição de elementos constituintes denominados *entradas*, *saídas*, *controles*, *facilitadores* e *atividades*. Utilizando esta nomenclatura e fazendo uso de conteúdo adicional sobre definição de elementos de processos de fabricação, extraídos de Groover (2010), propõe-se a composição de um processo técnico de fabricação como ilustrado na Figura 1, abaixo.

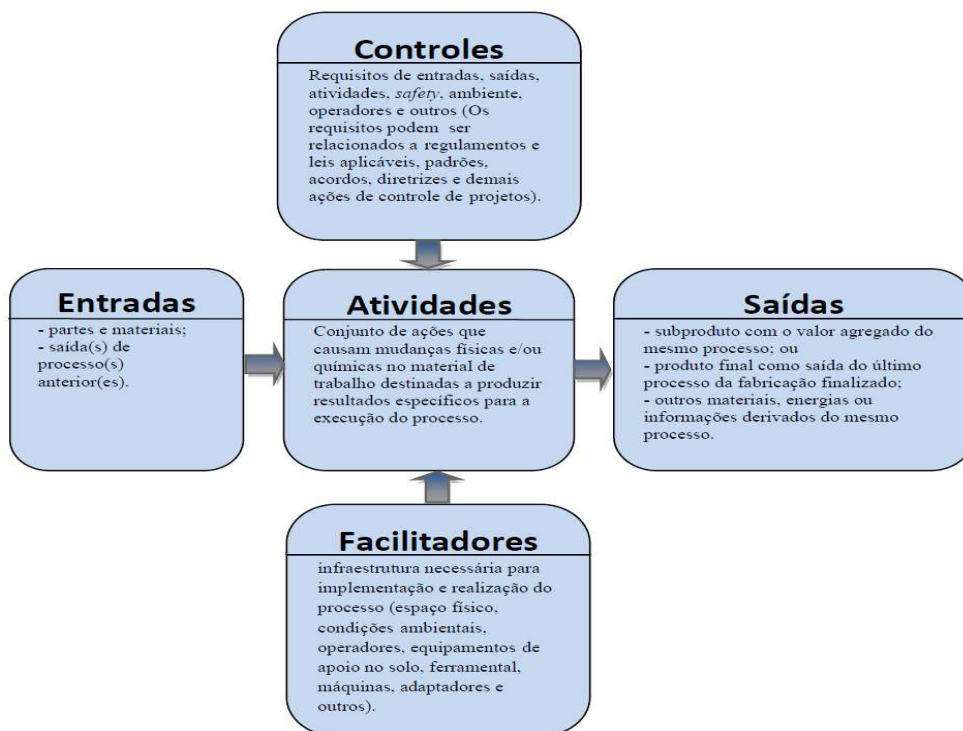


Figura 1 – Proposta de definição dos elementos de um processo técnico de fabricação. (Fonte: Adaptado de INCOSE, 2015, Groover (2010))

### 3.2 Proposta de classificação específica para processos técnicos de fabricação

Além da definição dos processos técnicos necessários para a fabricação do modelo de qualificação ou de voo em projetos específicos, é importante que se considere a possibilidade de reuso de processos entre diferentes projetos. Assim, para um maior controle e organização de todos os processos, facilitando o reuso, faz-se relevante a classificação e identificação dos processos de fabricação e seu possível arquivamento em um banco de dados.

Com o objetivo de classificação, propõe-se, a exemplo de aplicações industriais, que processos técnicos de fabricação, utilizados na área espacial, sejam classificados em grupos de processos.

A Tabela 2 apresenta um arcabouço de classificação de processos de fabricação originalmente proposto por Groover (2010), o qual busca classificar processos técnicos de fabricação conforme o tipo de transformação que ocorre no material de trabalho. De forma natural, níveis adicionais de classificação podem ser agregados ao arcabouço da Tabela 2, com detalhamento adicional do tipo da transformação efetuada sobre o material de trabalho. Como exemplo, a classificação do processo de colagem adesiva (1.2.1.3 da Tabela 2) poderá ser desdobrada em subgrupos adicionais, conforme o método, material ou outro recurso utilizado.



Tabela 2 – Proposta de classificação específica para processos técnicos de fabricação. (Fonte: Adaptado de Groover, 2010)

1. Processos Técnicos de Fabricação	1.1. Operações de Processamento	1.1.1. Moldagem	1.1.1.1. Solidificação
			1.1.1.2. Particulado
			1.1.1.3. Deformação
			1.1.1.4. Remoção de material
		1.1.2. Melhoria de propriedade	1.1.2.1. Tratamento Térmico
	1.2. Operações de montagem	1.1.3. Processamento de superfície	1.1.3.1. Limpeza e tratamento superficial
			1.1.3.2. Revestimento e deposição
		1.2.1. Junção permanente	1.2.1.1. Soldagem - <i>Welding</i>
			1.2.1.2. Brasagem e Solda
			1.2.1.3. Colagem adesiva
		1.1.2. Fixação mecânica	1.1.2.1. Fixadores roscados
			1.1.2.2. Fixação permanente

### 3.2.1 Diagrama de fabricação

Além de identificar e classificar os processos, faz-se necessário que seja desenvolvido para cada equipamento, como parte do projeto, um diagrama de fabricação, contendo todos os processos necessários à fabricação do equipamento em referência, conforme diagrama ilustrado na Figura 2. Mais especificamente, o diagrama de fabricação conterá a relação completa de partes e materiais e de todas as operações, organizadas na forma de processos, necessárias à transformação de partes e materiais no equipamento correspondente.

Os processos constantes do diagrama de fabricação de determinado item de voo deverão ser aprovados para uso mediante plano de verificação e atualizados na lista de processos declarados do respectivo item de voo, contribuindo, assim, com a abordagem geral de garantir que modelos de voo sejam funcional e construtivamente equivalentes aos modelos de qualificação.

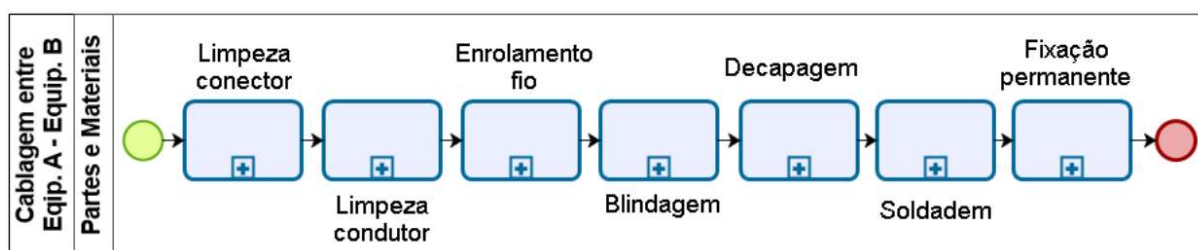


Figura 2 - Exemplo simplificado de diagrama de fabricação de cablagem de conexão elétrica entre dois equipamentos utilizando a notação BPMN (*Business Process Model and Notation*).

### 3.3 Controle e uso de processos técnicos de fabricação no âmbito da área espacial

Durante a pesquisa, verificou-se que os requisitos de seleção e uso de processos, habitualmente aplicados no INPE e IAE, se assemelham ao padrão preconizado pela ECSS, sendo este o padrão de referência de maior uso no âmbito do programa espacial brasileiro para realizar o controle de processos.

O controle de processos tem por objetivo garantir que todo processo “... esteja apto para ser utilizado na fabricação do modelo de qualificação ou de voo ...”, seja “... documentado e



*repetitivo ...”, gere “... produtos que atendam requisitos de projeto ...” e que tenham “... modificações necessárias sempre atualizadas ...” (ECSS, 2014).*

Segundo a ECSS, todo fornecedor de um programa/projeto deverá apresentar uma lista de processos (*Declared Process List*), com todos os processos necessários para a fabricação do modelo de qualificação ou de voo do item/equipamento fornecido. Esta lista deverá ser atualizada em cada fase do projeto.

Todo processo é submetido a uma análise de criticidade, a qual está baseada na seguinte definição: “... *todo processo novo ou ainda não verificado é considerado crítico ...*” (ECSS, 2014).

O controle de processos deve assegurar que todos os processos usados na fabricação do modelo de qualificação, ou de voo, no caso de repetição de fabricação de item já verificado, sejam detalhadamente documentados, com critérios de rejeição e aceitação (ECSS, 2014).

Os processos devem ser selecionados na seguinte prioridade (ECSS, 2014):

- a) utilizados em projetos similares (condições idênticas de uso) ou constantes de fontes aprovadas ou similares ao projeto;
- b) que obtiveram resultados satisfatórios na avaliação e verificação; e
- c) utilizados com sucesso pelo fornecedor em outros programas espaciais nas mesmas condições de uso.

Todo processo crítico deve ser identificado em uma *lista de processos declarados* e ser submetido à aprovação do cliente, mediante uma solicitação de aprovação (*Request For Approval*). O fornecedor deve implementar para cada processo crítico, um plano de verificação de acordo com padrões internos, previamente definidos.

Conforme ilustrado na Figura 3, se identificada a necessidade de avaliação, como um dos resultados da análise de criticidade do processo, o processo é submetido à fase de avaliação antes da fase de verificação, em que serão considerados os limites de seu uso, os valores de parâmetros relevantes, determinados através de amostras de teste ou amostras de tecnologia, e suas *tolerâncias e critérios de aceitação*.



Figura 3 – Passos para aprovação de um processo crítico. (Fonte: Adaptado de ECSS, 2014)





Para processos que não estejam em conformidade com os requisitos do projeto, seja no final da análise de criticidade ou dos testes de avaliação e verificação, o fornecedor deverá apresentar um pedido de desvio (*waiver*), de acordo com padrões internos, previamente definidos. Os processos definidos como *não crítico* não necessitam de solicitação de aprovação. Entretanto, estes processos também devem ser controlados.

O controle de processos, estabelecido no padrão da ECSS, prevê, ainda, ações suplementares de controle, como descritas abaixo.

### I. Controle de status de verificação

- o status de verificação do processo é atribuído conforme a classificação apresentada na tabela 3;
- o fornecedor deverá confirmar que todos os processos críticos foram verificados anteriormente à fabricação de modelos de qualificação ou de voo;
- qualquer modificação, mudança de *condição de aplicação* ou de *configuração de aplicação* levará a uma reavaliação da conformidade do processo.

Tabela 3 – Controle de status de verificação de processo. (Fonte: Adaptado de ECSS, 2014)

Código	Descrição
A	<b>Aprovado.</b> Todos os processos com esta classificação podem ser utilizados sem restrições
X	<b>Aprovado via solicitação de aprovação (<i>Request For Approval</i>).</b> Estes processos foram submetidos a programas de avaliação e verificação.
W	<b>Aprovado com concessão.</b> Estes processos não atendem a todos os requisitos do projeto, mas são utilizados por razões especiais. Como diretriz, seu uso deve ser reduzido na medida do possível.
P	<b>Pendente de uma decisão.</b> Processos para os quais um relatório de verificação ou um pedido de desvio encontra-se sob avaliação do cliente.
O	<b>Aberto.</b> Novos processos, para os quais, investigações, avaliações e verificações se encontram em andamento.
R	<b>Rejeitado.</b>
D	<b>Descartado.</b> Esta classificação aplica-se a processos aprovados em outros projetos, mas que se encontram em desuso.

### II. Reverificação do processo

- caso necessário, mediante nova solicitação de aprovação.

### III. Implementação de processos

- antes da implementação de um processo, o fornecedor deverá garantir que o treinamento de pessoal ocorrerá e que o ambiente, meios e documentação serão disponibilizados de forma adequada; esta verificação deverá assegurar que:
  - a fabricação e as ferramentas de controle de qualidade associadas ao processo são adequadas, calibradas, mantidas adequadamente e usadas sob condições ambientais e de limpeza, em conformidade com os requisitos aplicáveis;
  - a equipe de execução é treinada e certificada;
  - as especificações de processos, fabricação e procedimentos de inspeção e normas de mão de obra estejam disponíveis, incluindo a definição de operações de fabricação e existência de critérios de aceitação.

### IV. Rastreabilidade de processos, processamento de *não conformidades e alertas* e pontos de inspeção obrigatórios (*Mandatory Inspection Points*)



- devem ser definidos em conformidade com requisitos e padrões internos, previamente definidos.

### **V. Embalagem, armazenamento e remoção do armazenamento**

- O fornecedor deverá planejar provisões para embalagem, armazenamento e remoção de armazenagem para produtos ou produtos semiacabados, antes e depois da implementação de processos (ECSS, 2014).

## **4. Conclusão**

A identificação, classificação e controle de processos são atividades que geram resultados estáveis e atendem requisitos, garantindo reprodutibilidade. Constituem-se, também, em uma das principais bases para a melhoria contínua dentro das organizações. Tais atividades são essenciais, igualmente, para o reuso de processos entre diferentes projetos e programas.

No âmbito da área de garantia do produto, os requisitos para padronização e controle de processos técnicos de fabricação tratam do estabelecimento de regras e normas que possibilitam que os requisitos do produto sejam atendidos, aumentando a confiabilidade e garantindo a reprodutibilidade do produto através das operações de fabricação.

Entre outros resultados da pesquisa, nota-se que os requisitos para seleção e uso de processos aplicados no INPE e no IAE se assemelham ao padrão preconizado pela ECSS, podendo este padrão ser considerado como estado da arte no âmbito dos programas e projetos espaciais brasileiros.

Na área espacial, a execução dos processos constantes do diagrama de fabricação de determinado item de voo, mais especificamente, a execução integral do conjunto de processos técnicos aprovados para uso mediante plano de verificação e atualizados na lista de processos declarados do respectivo item de voo, busca garantir que modelos de voo sejam funcional e construtivamente equivalentes aos modelos de qualificação.

## **Referências**

ABPMP - ASSOCIATION OF BUSINESS PROCESS MANAGEMENT PROFESSIONALS, ABPMP BPM CBOK V3.0 - Guia para o Gerenciamento de Processos de Negócio - Corpo Comum de Conhecimento, Brasília, 2013.

ECSS - EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION, ECSS-Q-ST-70C, Space Product Assurance - Material, mechanical parts and processes, ECSS secretariat, ESA – STEC, Requirements and Standards Division, Noordwijk, The Netherlands, 2014.

GONDO, S. M. H.; Proposta de Metodologia para o Tratamento de Processos na Fabricação de Plataformas Orbitais no Âmbito do Programa Espacial Brasileiro, Dissertação de mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2012.

GROOVER, M. P.; Fundamental of Modern Manufacturing, Materials, Processes and systems, 2010.

INCOSE - INTERNATIONAL COUNCIL ON SYSTEMS ENGINEERING, Systems Engineering Handbook, San Diego, Califórnia, 4ª edição, 2015.

PMBOK - PROJECT MANAGEMENT BODY OF KNOWLEDGE, Guia do Conhecimento em Gerenciamento de Projetos, Newtown Square, Pensilvânia, 6ª edição, 2017.