

INSTITUTO SENAI
DE INOVAÇÃO



Iniciativa da CNI - Confederação
Nacional da Indústria



Novas tecnologias de projetos e de manufatura avançada

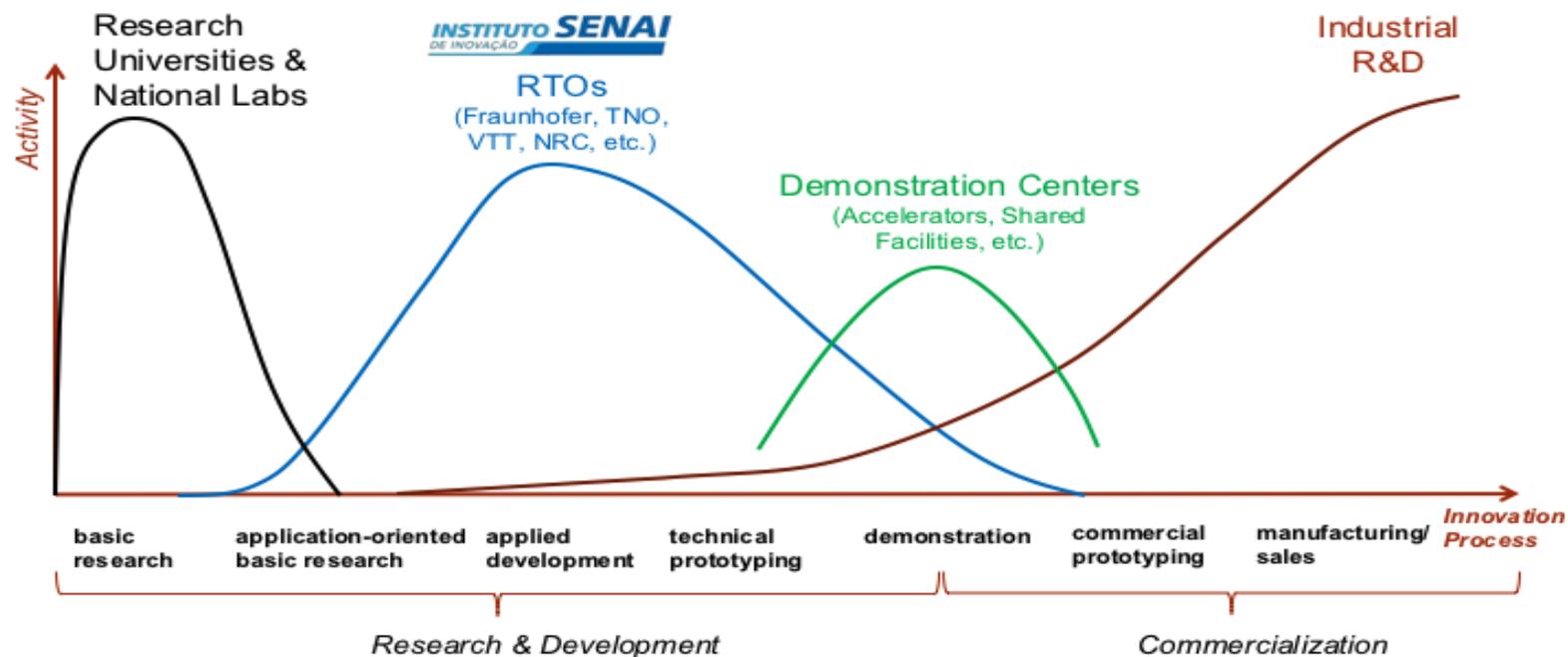
André Marcon Zanatta, Dr. Eng.

Edson Costa Santos, Dr. Eng.

André Pierre Mattei, Dr. Eng.

Florianópolis, 2017

Funções dos Institutos SENAI de Inovação



- Veículo para ajudar a traduzir resultados de P&D em inovações e, dessa forma, materializarem-se os benefícios econômicos do investimento público;
- Apoiar a formação de novos negócios e inovação industrial;
- Melhorar a competitividade global da economia através da inovação.

Modelo de negócio dos Institutos SENAI de Inovação



Institutos de SC

Sistemas Embarcados

Sistemas de Manufatura

Laser

Localização e Área Técnica dos Institutos Senai de Inovação

TOTAL
25

LEGENDA:

[4] Planning

[4] Implementation

[17] Operational

PA: Mineral Technologies

AM: Microelectronics

RN: Renewable Energies

PE: Information and
Communication Technology

- BA: Forming & Materials Joining
- BA: Production Automation
- BA: Logistics

MG: Surface Engineering
MG: Metalurgy and Special Alloys
MG: Mineral Processing
MG: Electric Equipment and Systems

MS: Biomass

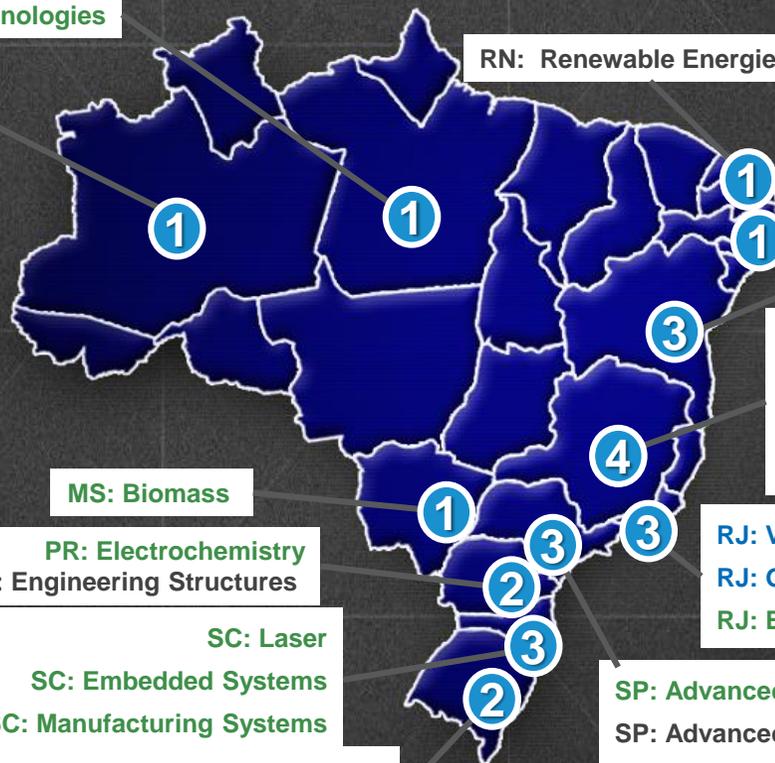
PR: Electrochemistry
PR: Engineering Structures

SC: Laser
SC: Embedded Systems
SC: Manufacturing Systems

■ RS: Polymer Engineering
RS: Integrated Solutions in Metalmechanics

RJ: Virtual Production Systems
RJ: Green Chemistry
RJ: Biosynthetics

SP: Advanced Manufacturing and Microfabrication
SP: Advanced Materials and Nanocomposites
SP: Biotechnology



Inovação em sistemas ciberfísicos com foco na gestão de tempo, custo e riscos



■ Segmentos de Mercado Estratégicos para o ISI:

- Energia, Óleo & Gás, Telecomunicações, Automação e TIC, Saúde, Automotivo, Aeroespacial, Defesa.

■ Portfólio de Serviços / Plataformas Tecnológicas:

- **Sistemas de controle e otimização;**
- **Processamento de sinais e mineração de dados;**
- **Sistemas de comunicação;**
- **Verificação, simulação e gestão da qualidade.**

■ Infraestrutura, Equipe:

- Novo edifício em construção, 2.150 m².
- Junto à ecossistema de inovação com grupos universitários, centros de pesquisa e incubadora de pequenas e médias empresas.
- Estruturação através de parcerias com UFSC, UFRGS e SENAI Florianópolis.

Investimentos >> DR: R\$ 2.865.982,00 | BNDES: R\$ 17.077.476,88 | **TOTAL: R\$ 19.943.458,88**

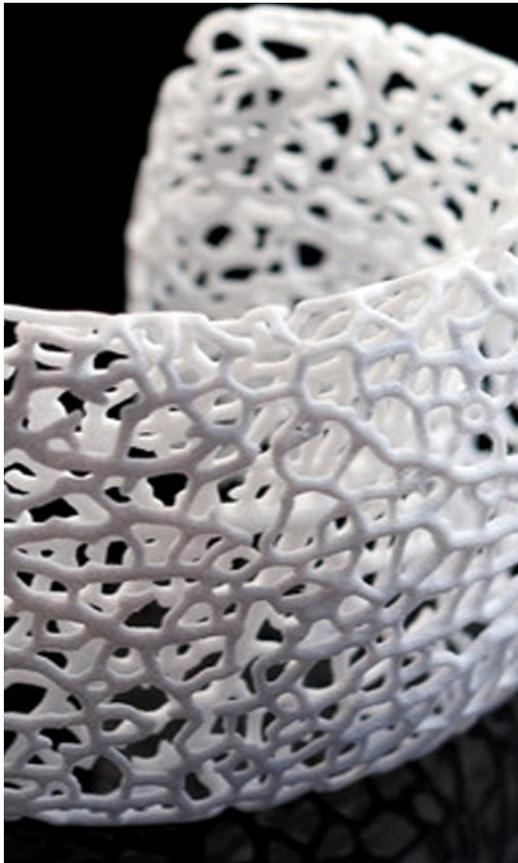
Inauguração do Instituto Estimada para: Mês/Ano

Localização do Instituto: Fase I - SENAI CTAI / Fase II - Parque Tecnológico Sapiens Parque

Instituto SENAI de Inovação em Sistemas Embarcados Florianópolis



Modelagem, simulação e manufatura para sistemas que exigem alta precisão produtiva



■ Segmentos de Mercado Estratégicos para o ISI:

- Metalmecânica, Metalurgia, Óleo & Gás e Energia, Tecnologia Médica, Aeroespacial, Automotiva e Indústria Naval e Ferroviária,

■ Portfólio de Serviços / Plataformas Tecnológicas:

- Desenvolvimento de Processos de Usinagem;
- Desenvolvimento de Produtos e Máquinas Automáticas;
- Tecnologia de Materiais aplicados a Processos de Usinagem.

■ Infraestrutura, Equipe:

- Prédio em construção: 7.981 m².
- Equipe atual: 26 pesquisadores e especialistas.
- Equipe futura: 50 pesquisadores e especialistas.

Investimentos >> DR: R\$ 5.707.991,85 | BNDES: R\$ 6.764.478,07 | **TOTAL: R\$ 12.472.469,92**

Inauguração do Instituto: Fevereiro/2014

Localização do Instituto: Complexo SENAI Joinville

Soluções para aplicações de laser em diversas áreas do conhecimento



■ Segmentos de Mercado Estratégicos para o ISI:

- Óleo, Gás e Energia, Metal Mecânica, Aeroespacial, Naval, Automotivo e Eletroeletrônica, Odonto-médica, Defesa.

■ Portfólio de Serviços / Plataformas Tecnológicas:

- Manufatura Aditiva a Laser;
- Tratamento de superfícies a laser;
- Soldagem e corte a laser.

■ Infraestrutura, Equipe:

- Prédio novo em construção: 7.980 m².
- Equipe atual: Diretor, 6 pesquisadores e 7 bolsistas.
- Equipe planejada: 15 pesquisadores e especialistas.

Investimentos >> DR: R\$ 364.766,58 | BNDES: R\$ 33.697.057,50 | **TOTAL: R\$ 34.061.824,08**

Inauguração do Instituto Estimada para: Mês/Ano

Localização do Instituto: Complexo SENAI Joinville

Institutos SENAI de Inovação em Joinville-SC

Novas instalações

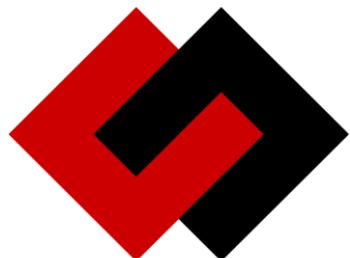


Institutos SENAI de Inovação em Joinville-SC

Parceiros



PUCRS



Centro de Competência em Manufatura

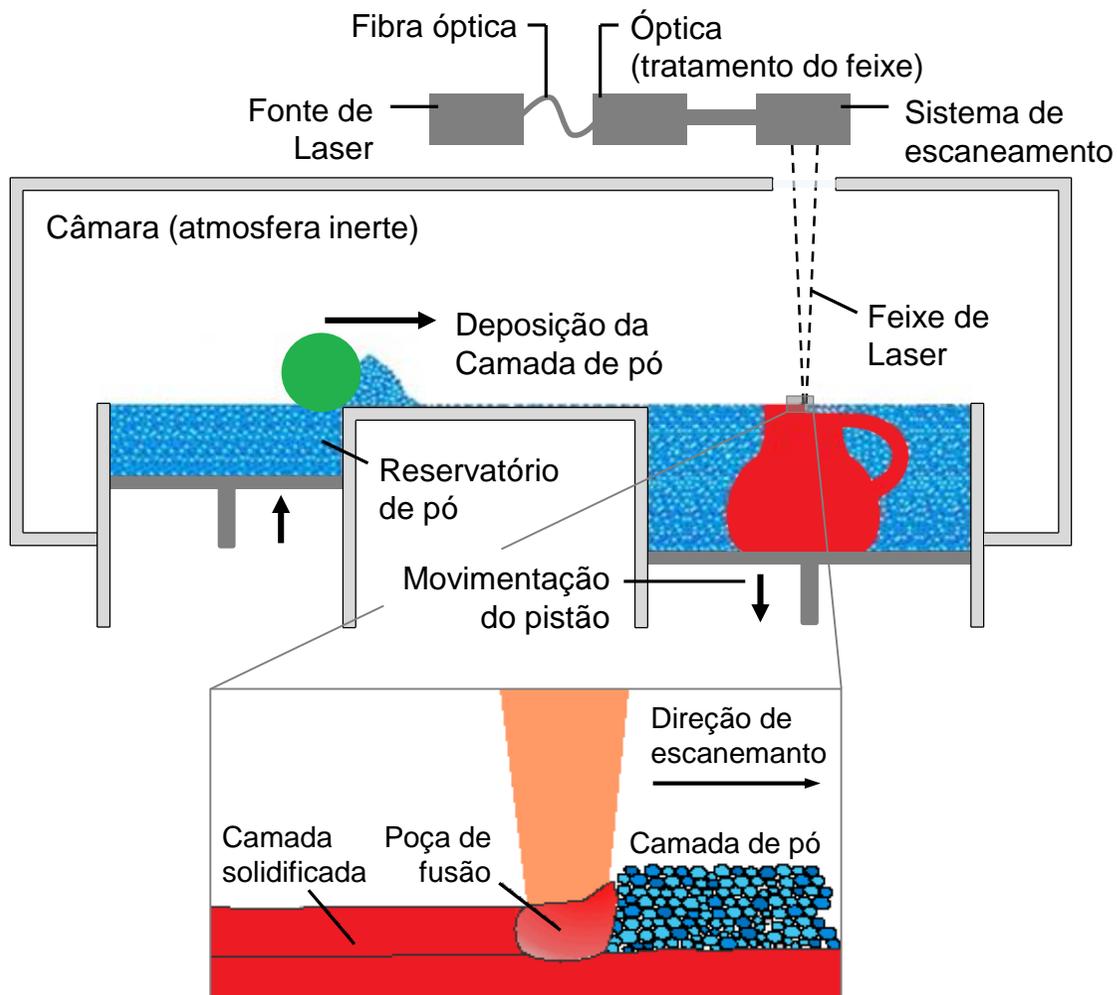


Institutos SENAI de Inovação

Parceiros de pesquisa aplicada



Fusão Seletiva a Laser – Ingl. Selective Laser Melting (SLM)

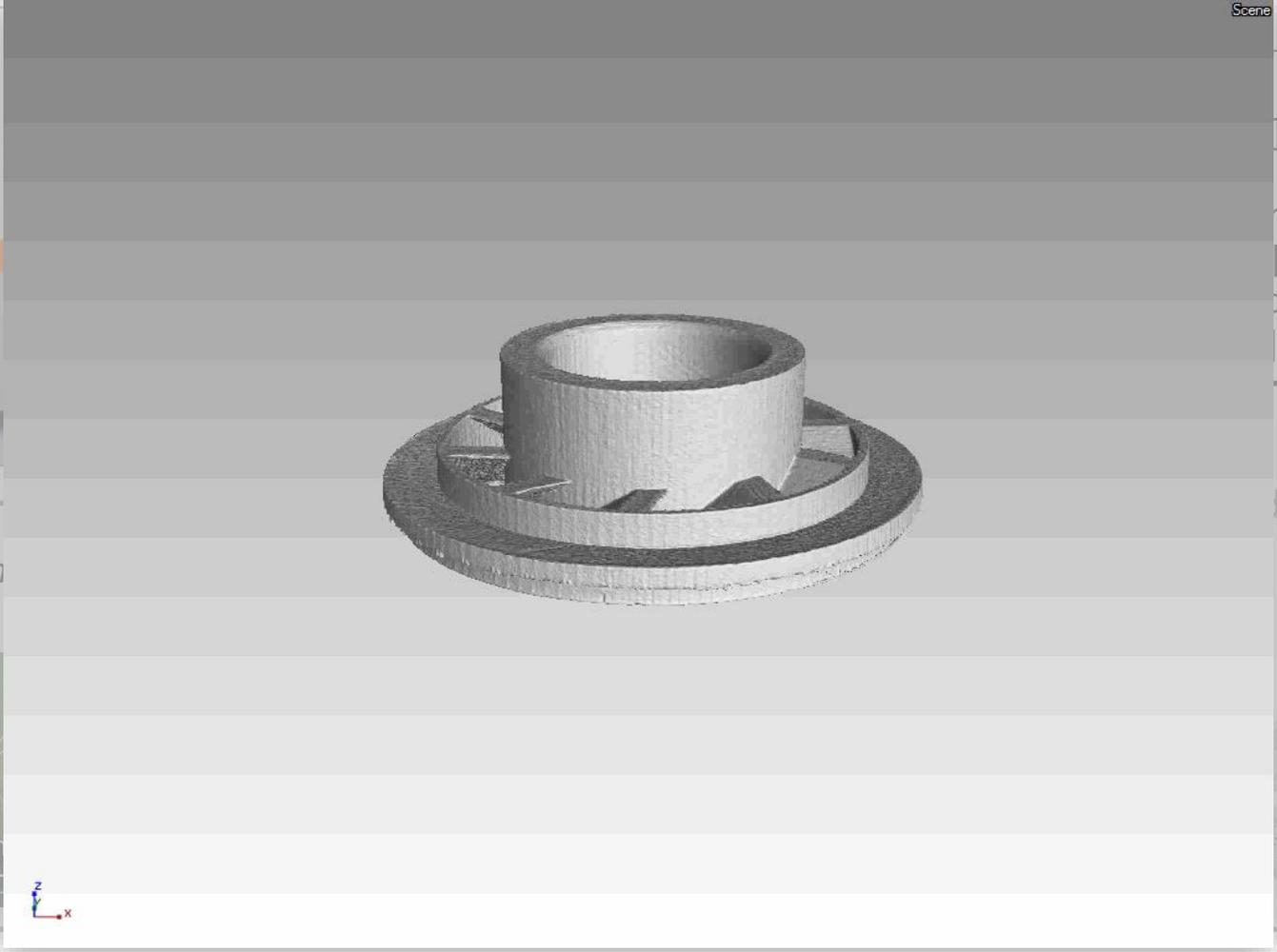


- A produção ocorre camada por camada pela fusão a Laser do pó metálico diretamente do arquivo CAD
- Peças complexas que não poderiam ser fabricadas anteriormente tornam-se viáveis e sua produção ocorre sem necessidade de ferramental:
 - Alto grau de liberdade para design do produto
- As propriedades das peças fabricadas são muito próximas dos materiais convencionais (densidade ~100%):
 - Alta eficiência de utilização de material
- Materiais disponíveis para processamento:
 - Aços para trabalho a quente, aços inoxidáveis, ligas de alumínio, cromo-cobalto, titânio e níquel

[Fonte: Kristian Arntz - Promotionsvortrag]

Fusão Seletiva a Laser no SENAI

Concept Laser M2 Cusing / SLM Solutions 125HL

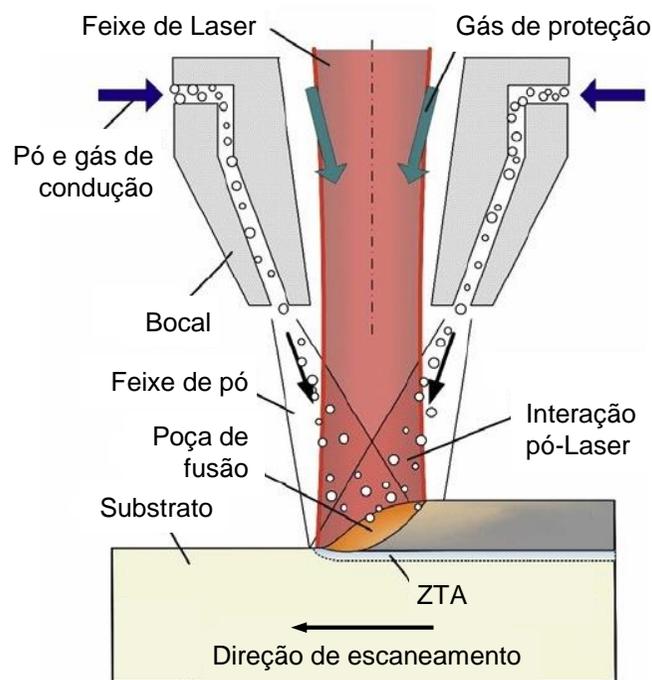


	400
	máx. 7000
	50-200
h]	20-80
[μm]	5-20
cm³/h]	2-20
	50-200



[Fontes: ISI Laser e Sistemas de Manufatura – Joinville]

Deposição de Metal a Laser – Ingl. Laser Metal Deposition (LMD)



- Mesmo princípio de funcionamento da técnica SLM (construção camada por camada diretamente do CAD), porém na técnica LMD o pó é introduzido coaxialmente ao feixe de Laser
- Possibilidade de produção, reparo e revestimento (*cladding*) de peças complexas
- Possibilidade de uso de múltiplos pós simultaneamente:
 - Deposição de ligas
 - Gradientes de material
- Complementar à técnica SLM (fatias de mercado com baixa intersecção):
 - LMD: Maiores taxas de deposição, atendendo a peças de maiores volumes
 - SLM: Melhor acabamento superficial e maior precisão dimensional
- Materiais disponíveis para processamento:
 - Aços para trabalho a quente, aços inoxidáveis, MMCs (*Metal Matrix Composites*) e ligas de cromo-cobalto, titânio e níquel
- Setores atendidos:
 - Ferramentaria, aeronáutico e aeroespacial, nuclear, automobilístico e óleo & gás

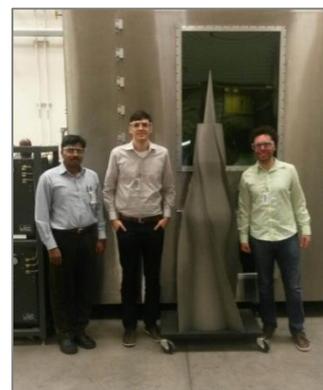


[Fontes: 3ders, Sulzer]

LMD no SENAI SC – RPM Innovations 535

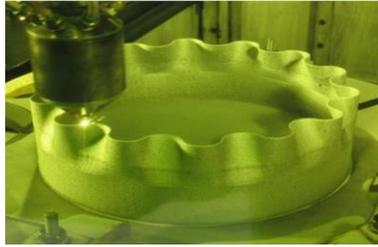


Potência do Laser [W]	3000
Volume máximo de construção [mm ³]	1524x914x1524
Concentração de O ₂ em atm. contr. [ppm]	<10
Número de eixos para controle de movimento	5
Velocidade de escaneamento [mm/s]	máx. 42,3
Diâmetro focal do feixe [mm]	1-3,6
Espessura da camada depositada [mm]	0,25-0,76
Rugosidades (Ra) típicas [µm]	25-100
Velocidade de produção [cm ³ /h]	5-50
Cabeçote de deposição interna	
Comprimento máximo [mm]	1000
Diâmetro mínimo [mm]	57

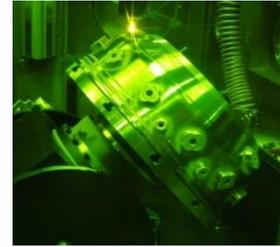


LMD – Aplicações para as áreas aeronáutica e aeroespacial

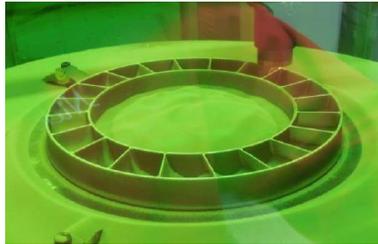
Fabricação de componentes



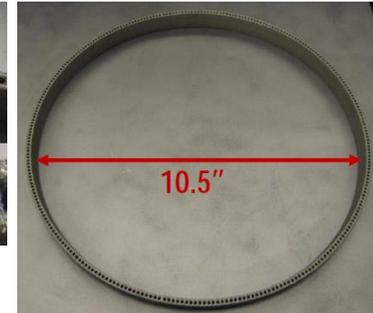
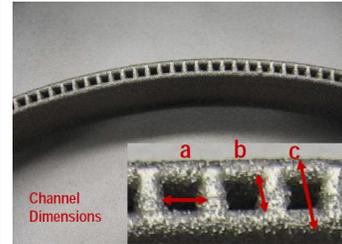
Peça: **Misturador**
Material: **Inconel 625**
Espessura da parede: ~2 mm



Peça: **Combustor**
Material: **Inconel 718**
Estratégia: **Manufatura híbrida**



Peças: **Estator**
Material: **Inconel 625**
Diâmetro externo: ~430 mm
Tempo de fabricação: ~30 h



Peça: **Canal de resfr.**
Material: **Inconel 625**
Diâmetro externo: ~270 mm
Espessura da parede: ~1,5 mm

[Fontes: RPM Innovations, EFESTO]

LMD – Aplicações para as áreas aeronáutica e aeroespacial

Reparo de componentes

Case:

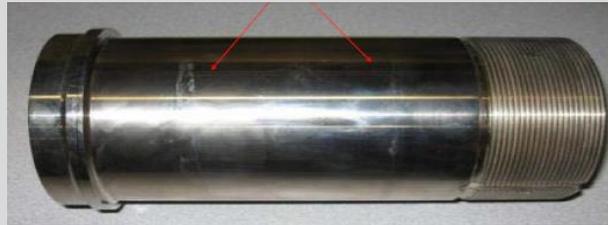
Problema: desgaste de componentes de alto valor agregado

reparo por LMD

Alojamento do rolamentos



Trem de pouso

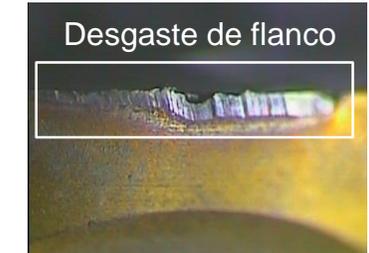
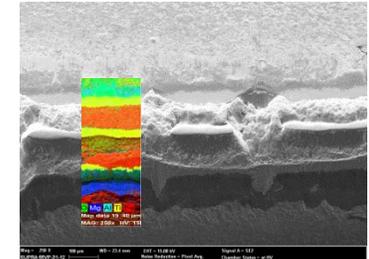
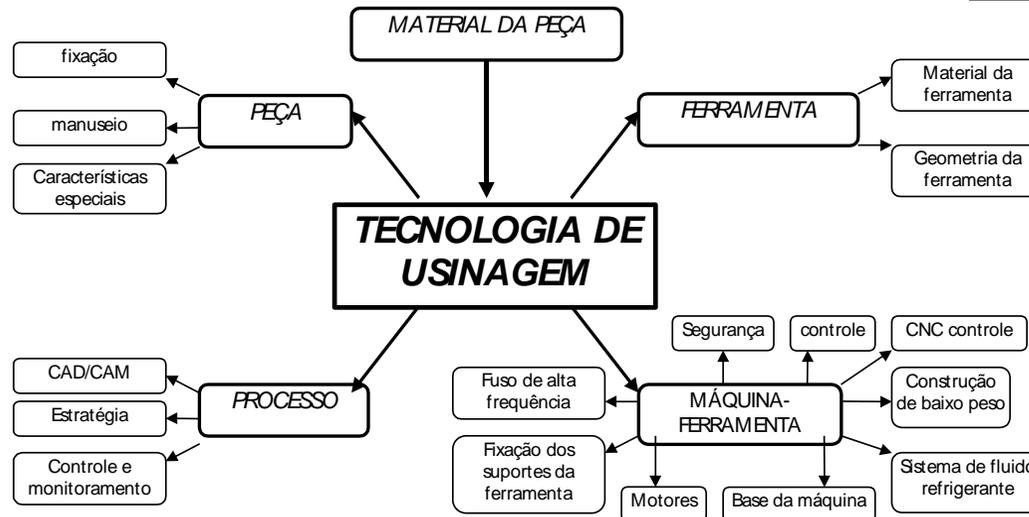
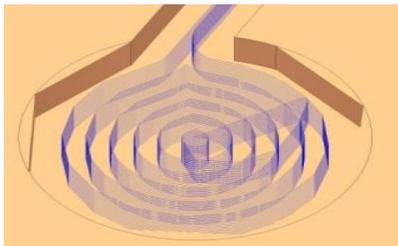
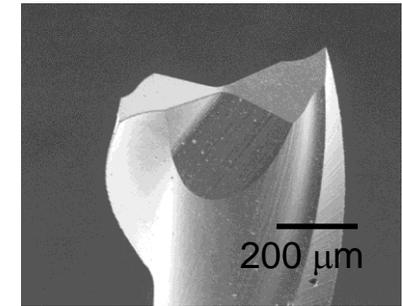
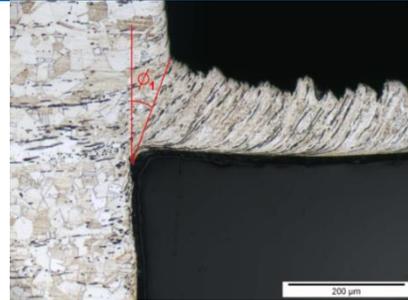


Selo do compressor

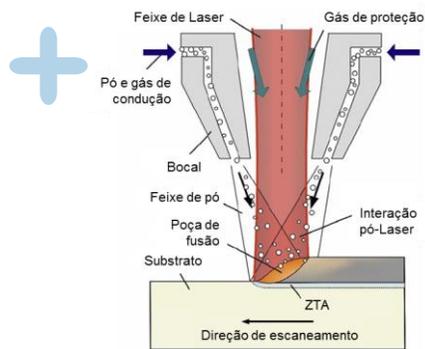


[Fontes: RPM Innovations, EFESTO]

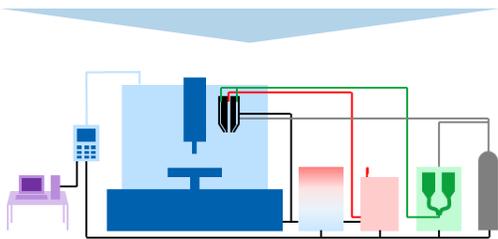
Desenvolvimento de processos de fabricação



Projeto 1: Máquina-ferramenta Híbrida



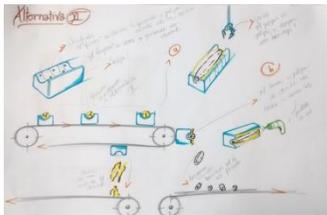
- Empresa(s) Cliente:
 - Metalmecânica
- Parceiro(s):
 - ISI Laser, ISI Sistemas de Manufatura, ISI Sistemas Embarcados, ITA
- Objetivo / Proposta de Valor
 - Hibridização de uma máquina-ferramenta para combinação de funcionalidades de deposição de metais a laser e usinagem 5-eixos. Aplicação na construção e reparo de componentes com alto valor agregado.
- Benefícios e Resultados Esperados
 - Flexibilização da máquina-ferramenta
 - Integração de requisitos da Indústria 4.0
 - Ganho em produtividade, redução do desperdício de material e aumento da complexidade geométrica realizável em uma única fixação
- Área de Pesquisa:
 - Manufatura híbrida, máquina-ferramenta, deposição de metais a laser, usinagem 5-eixos



Desenvolvimento de máquinas e produtos

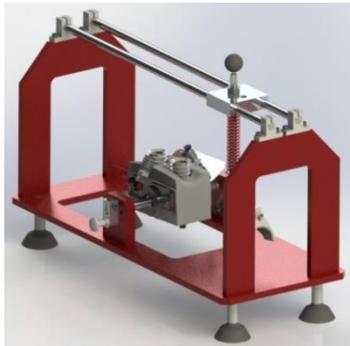
Design estratégico

- Benchmarking
- Análise Etnográfica
- Survey
- Análise de concorrentes
- Análise da Tarefa
- Brainstorming
- Analogias
- Matriz de parâmetros
- Matriz de decisão
- Mock-ups



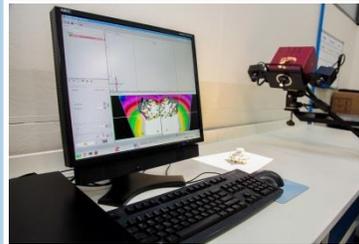
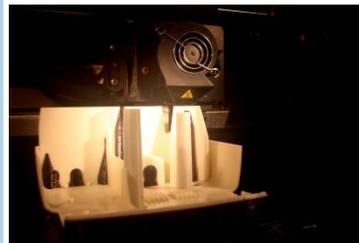
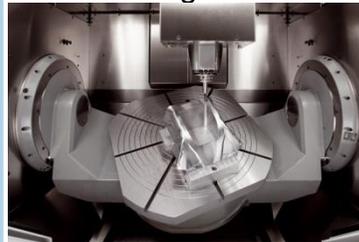
Projeto

- CAD e CAE



Fabricação

- Usinagem, Impressão 3D, Metrologia



Integração

- Mecânica, Elétrica e Eletrônica



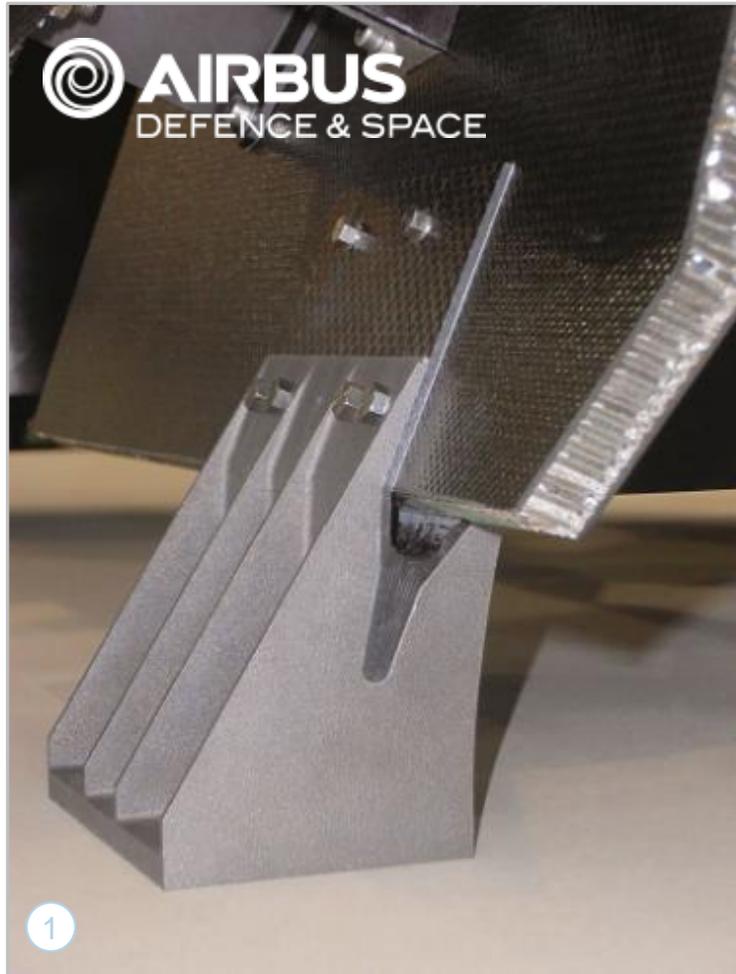
Produto final

- Protótipo



Manufatura Aditiva para a indústria aeroespacial

Exemplos



1. Satellite Titanium Clamp via SLM
 - Reduction of the production time by 5 days
 - Production cost saving over 20%
 - Significant weight reduction of the componente
2. Hydraulic prototype with complex internal channels
3. Ti6Al4V support to satellite antenna made by EBM with a lightweight design made by topology optimization

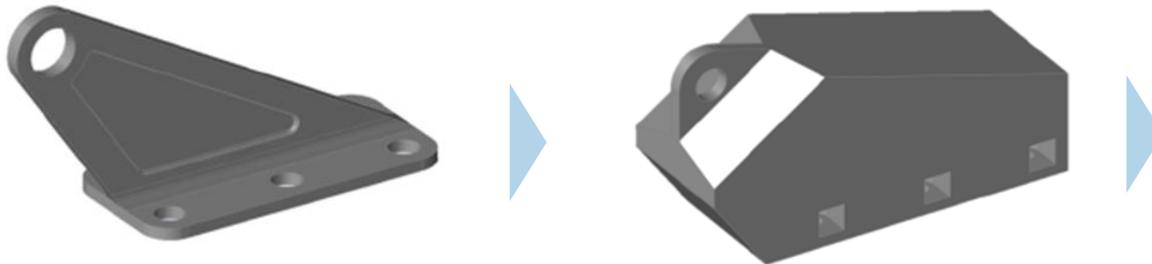


[Fonte: <http://globalprintmonitor.info/index.php/en/3d/3d-printing-news/aerospace/5554-airbus-defence-and-space-cuts-production-time-for-satellite-parts-with-additive-manufacturing>, EU Project COMPOLIGHT, Poly-Shape]

- February 2017: 3-days workshop on Additive Manufacturing in partnership with Altair:
 - Altair's contribution:
 - Introduction to Topology Optimization concepts
 - solidThinking Inspire™ software training
 - SENAI's contribution:
 - Introduction to Additive Manufacturing: costs, safety, processing parameters
 - Part build on a Concept M2 Cusing



Karen Silva,
Altair Training Coordinator

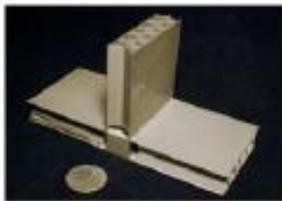


Manufatura Aditiva para a indústria aeroespacial

Exemplos



Nozzle Elements



Light weight Structures: Diffusion Bonded Titanium Honeycomb



Elements for Propulsion System

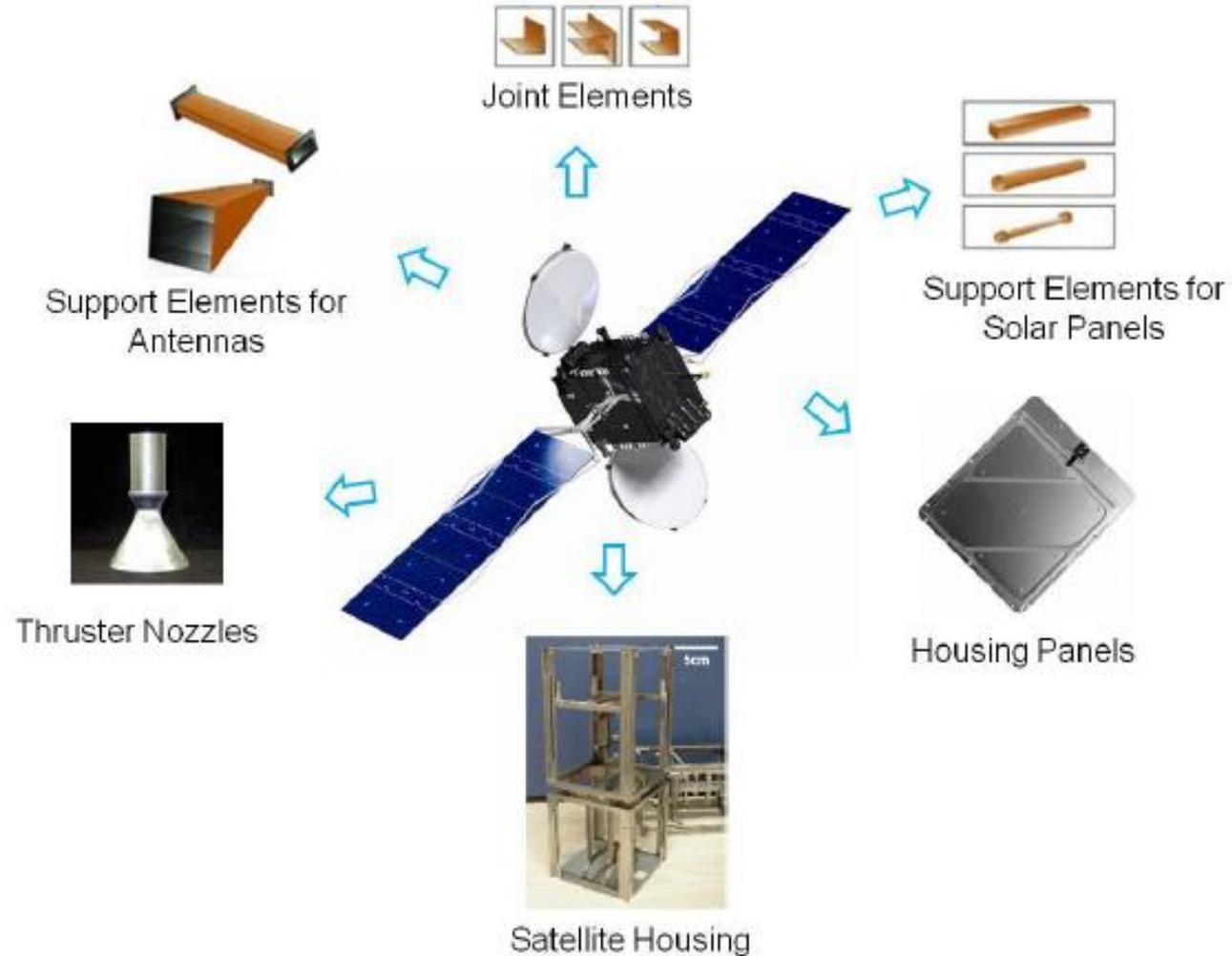


Turbine Blades

[Fonte: Prototyping and Manufacture of High Performance Metal Products for Aerospace industry with advanced Laser Technology]

Manufatura Aditiva para a indústria aeroespacial

Exemplos



[Fonte: Prototyping and Manufacture of High Performance Metal Products for Aerospace industry with advanced Laser Technology]

Tendência

Aumento do uso de Manufatura Aditiva na construção de elementos aeroespaciais

“Our goal is to print an entire satellite bus* with AM in the next four years, and we may accelerate that goal”
Slade Gardner (2015)
Lockheed Martin fellow



Space Systems/Loral produced a 3-D printed titanium antenna bracket, at left, that has half the mass of its 0.4-kilogram conventionally machined titanium counterpart. A computer-aided design optimization process minimizes the material needed to meet strength and stiffness requirements.



Thales Alenia Space used a 3-D printer to produce a prototype deployment mechanism for satellite solar panels. The titanium device has fewer parts and about one-fifth the mass of a similar, conventionally produced mechanism, according to the European Space Agency.

“[...] Reduced satellite mass means more room for radio frequency payloads, which generate revenue, and more fuel to extend the satellite’s life”
Derek Edinger (2015)
Space Systems/Loral

The simple fact that manufacturers are trusting AM to build load-bearing elements of a spacecraft is significant because satellite customers are notoriously risk-averse #LightweightSpacecraftBus

*Bus: frame and subsystems including power propulsion and communications gear

[Fonte: Werner, D: Reimagining satellite – American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2015]

Direct Metal Printing (DMP)

Parts for in-space satellite engines

■ Injector:

- Reduce the number assembly parts to 1, coming from more than 5 with conventional manufacturing:
 - eliminating many risky sealing welds required to achieve reliable hydraulic injection operation,
 - reducing cost and risk considerably.
- Absence of tooling access constraints:
 - establishing an injector thermal design that prevents heat from soaking back to the sensitive propellant valves seat and the spacecraft itself



Injector



Combustion chamber



Expansion nozzle

■ Combustion chamber:

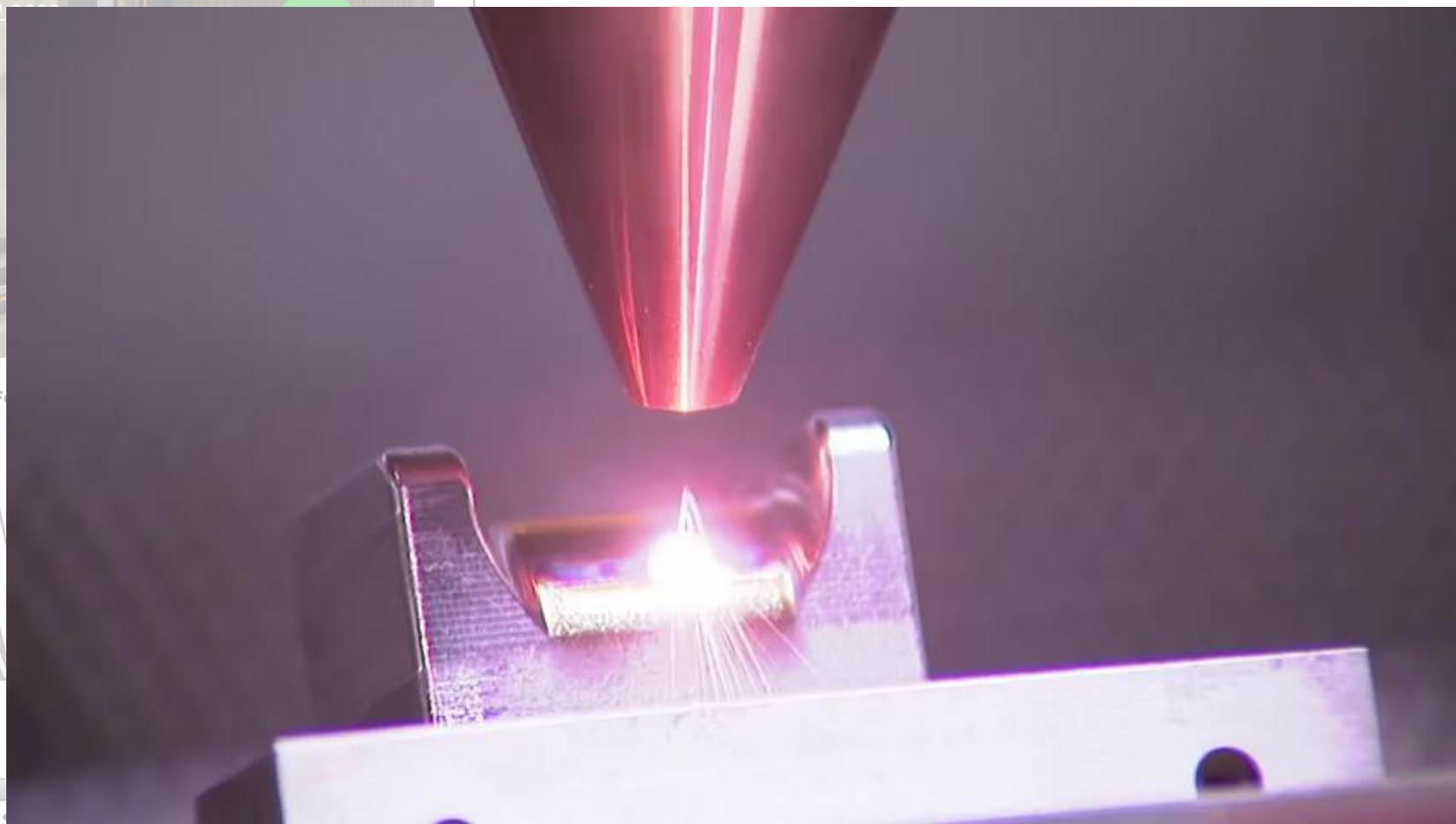
- Support structure as low-density mesh (12%):
 - weight reduction or improvement of the structural safety margins.

■ Expansion nozzle (exit diameter ~50cm):

- Traditional spin forming of sheet material kills all design flexibility:
 - DPM allows the engine performance to be tuned towards customer-specific thrust profiles, leaving many design options open until late in the process

[Fonte: <http://www.3dsystems.com/learning-center/case-studies/european-space-agency-investigates-additive-manufacturing-dmp-parts>]

Tratamento de superfícies: Surface Alloying, Cladding e Tratamento Térmico



6000
138x787
5
x. 338,6
áx. 84,6
m óptico
25-0,76

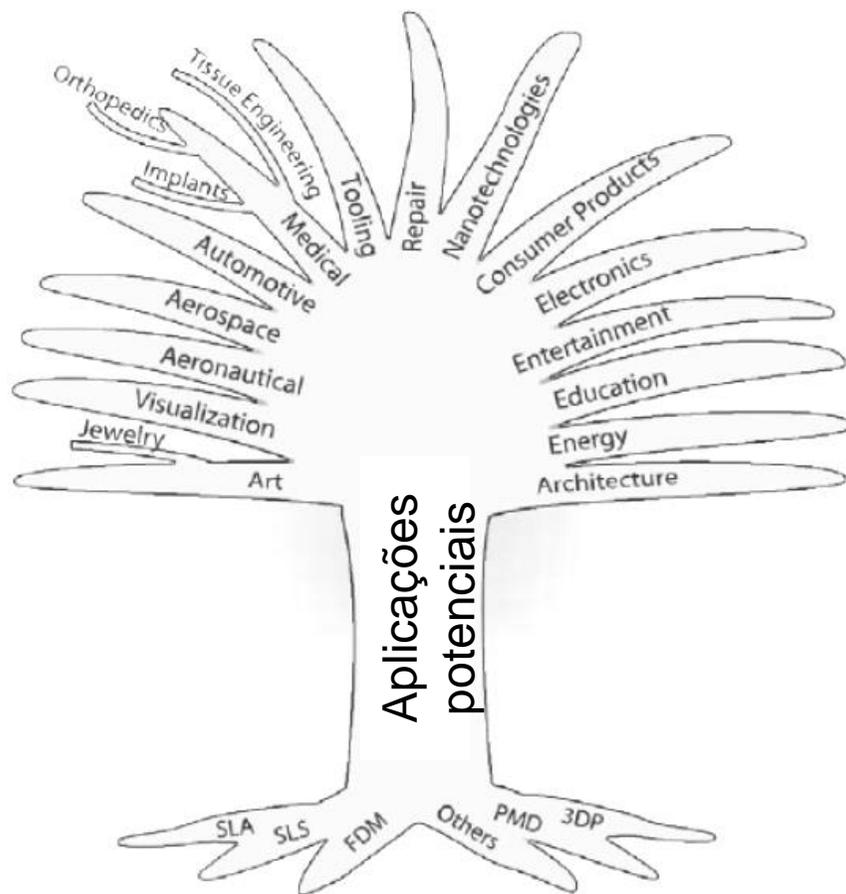
térmico

gás

óleo &

[Fontes: Oliveira, Fraunhofer IPT, Joanneun, Lasertherm]

Manufatura Aditiva de metais: aplicações na área civil



Cenário:

Crescente demanda por componentes de alto desempenho que podem usufruir de tecnologias de manufatura aditiva de metais.



Corte a Laser



Soldagem a laser para a indústria automobilística

■ Corte

- Corte 2D e 3D de metais, polímeros e compósitos
- Corte 2D de placas metálicas grossas

■ Soldagem

- Soldagem 2D e 3D de metais finos e geometria regular
- Soldagem 2D e 3D de plásticos e compósitos
- Soldagem híbrida laser-arco
- Soldagem de grandes espessuras



Soldagem a Laser



Potência do Laser (Disco / Diodo) [W]	10000 / 6000
Volume máximo de trabalho [mm ³]	1200x2438x787
Número de eixos para controle de movimento	5
Velocidade X/Y [mm/s]	máx. 338,6
Velocidade Z [mm/s]	máx. 84,6
Diâmetro focal do feixe (Disco / Diodo) [mm]	0,6 / 2
Corrente máxima MIG [A]	800



Soldagem modo condução



Soldagem modo penetração



Brasagem a laser



Soldagem narrow groove
5 mm



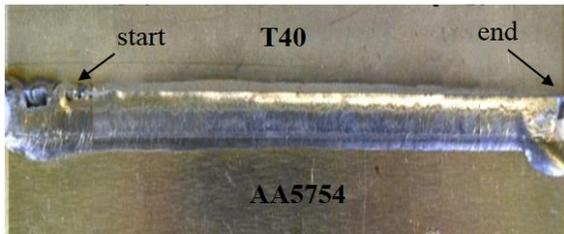
Soldagem híbrida laser-arco

- Soldagem a laser em modo de condução.
- Soldagem a laser em modo de penetração.
- Soldagem híbrida laser-arco.
- Brasagem a Laser.
- Soldagem *narrow-gap* a laser.
- Setores atendidos:
 - Óleo & gás, naval, automobilístico, nuclear, aeroespacial.

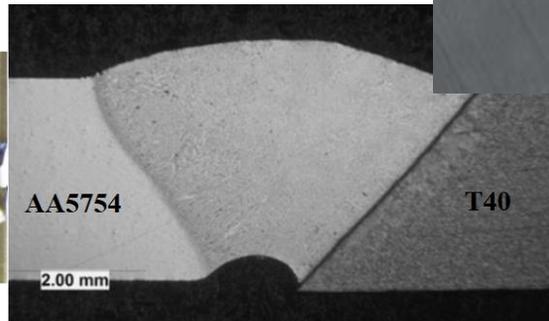
[Fontes: Precitec; Mfame; Balliu; Industrial Laser Solutions; Feng et al, 2016]

Soldagem a Laser no setor aeroespacial

- Soldagem de ligas com baixa massa específica:
 - Alumínio (Excelentes resultados com novos lasers de diodo)
 - Titânio
 - Magnésio
- Soldagem de metais dissimilares
 - Alumínio e aço
 - Alumínio e titânio
 - Alumínio e magnésio
 - Magnésio e Aço

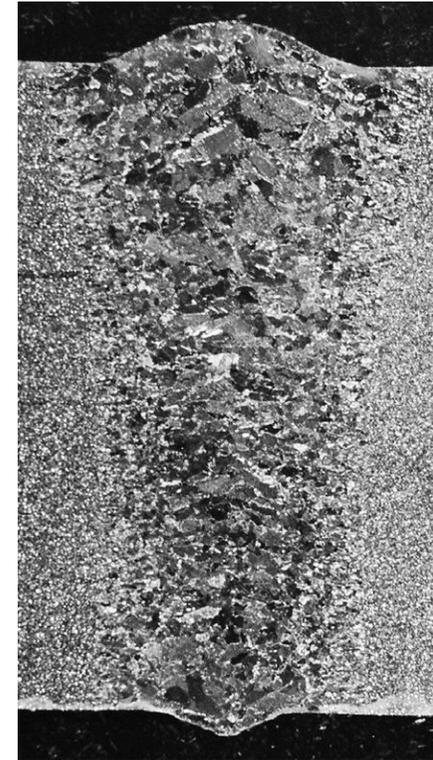


Fonte: Tomashchuk et al, 2017



Fonte: Precitec

Soldagem Titânio 15 mm

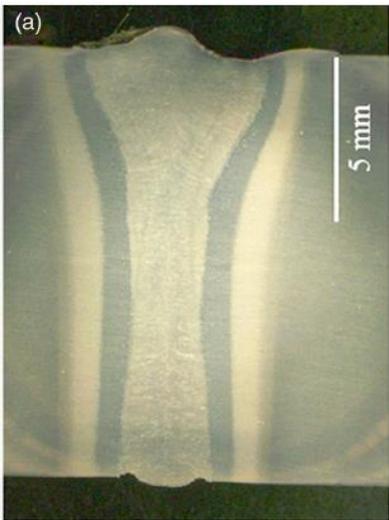


Fonte: Fraunhofer ILT

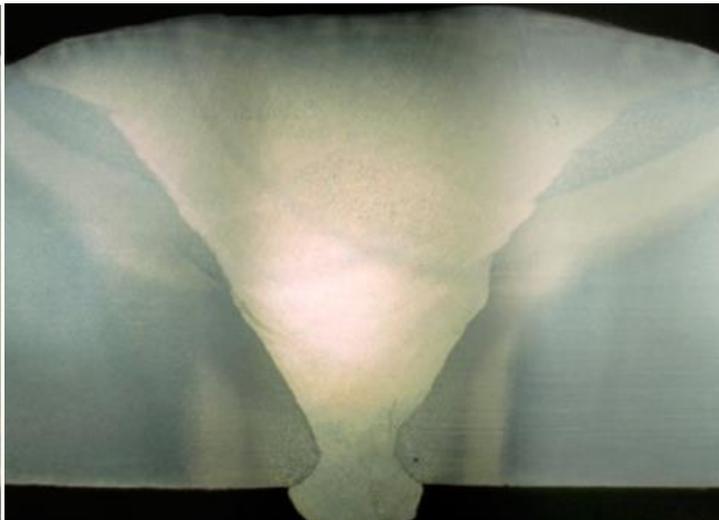
Soldagem a Laser grandes espessuras

- Soldagem a laser em modo penetração.
- Soldagem híbrida laser-arco.
- Soldagem *narrow-gap* a laser.

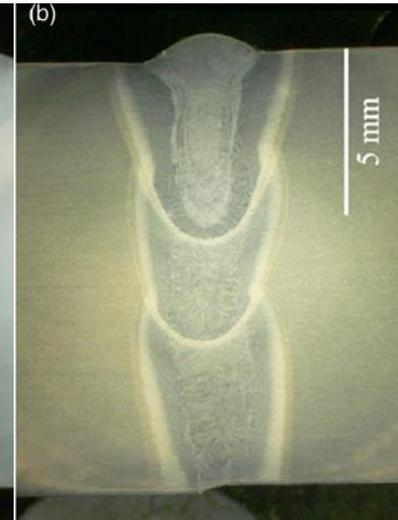
Soldagem a laser em modo penetração



Soldagem MIG convencional



Soldagem narrow-gap a laser



Soldagem híbrida laser-MIG



Fonte: Guo et al, 2016.

Desenvolvimento de materiais e caracterização

Ensaio químicos e corrosão

- ICP-EOS, FRX, ensaios de corrosão acelerados



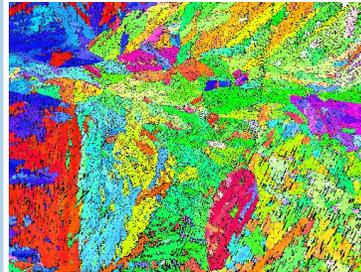
Ensaio mecânicos

- Tração, Fadiga, Charpy, Dureza



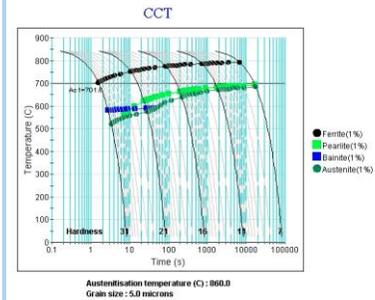
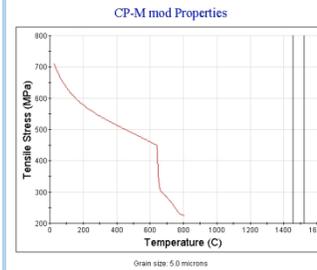
Microscopia e difração

- FEG, EBSD e DRX



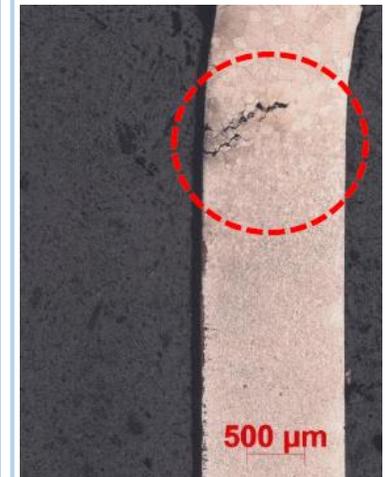
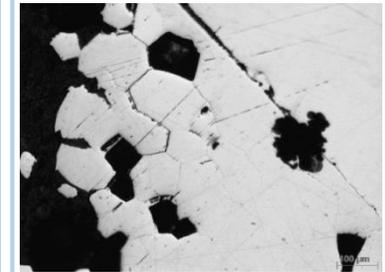
Simulação

- JMatPro

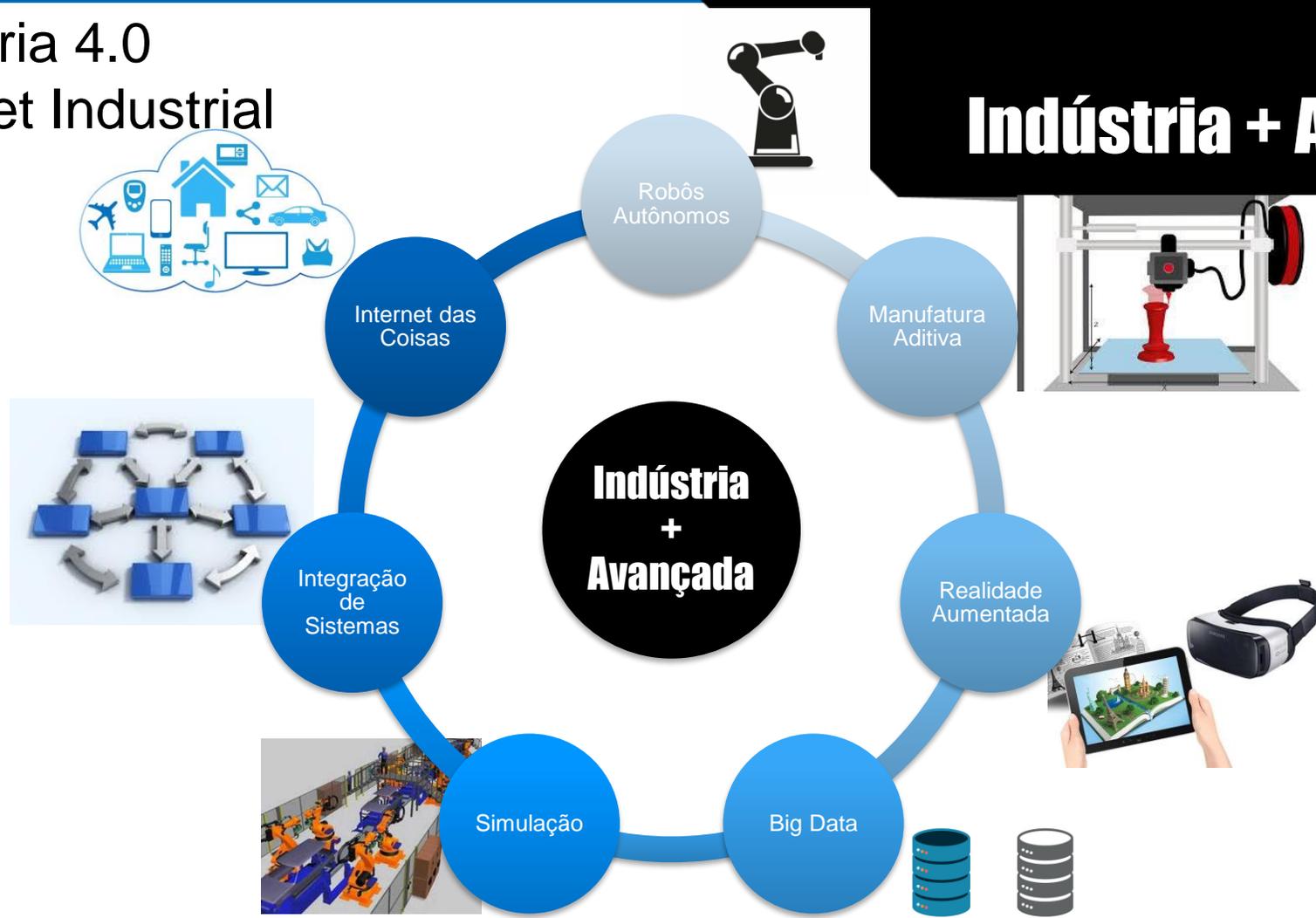


Análise de falhas

- FMEA



Indústria 4.0
Internet Industrial



Indústria + Avançada



Associação Brasileira de
INTERNET INDUSTRIAL



membros fundadores:

Pollux
Automation

FIESC **CIESC**

embraco

A ERA DA **INTERNET INDUSTRIAL**

Acesse:

abii.com.br

Indústria + Informada

- *Visibilidade detalhada da operação, para controle, qualidade e tomada de decisão*

Indústria + Integrada

- *Otimização da cadeia de valor, integrando fornecedores e clientes ao processo produtivo*

Indústria + Inteligente

- *Indústrias auto-gerenciáveis, flexíveis, seguras e eficientes*



Suitecases

+ Informada

Sensores nas máquinas da linha

Armazenamento de dados

Controle de almoxarifado

+ Integrada

Digitalização

Sistema supervisor

Balanceamento da linha

E-commerce

Integração da produção com o estoque

Integração com ERP

+ Inteligente

Análise dados

Tomada de decisão automática sob incerteza

Data center

Alimentação elétrica renovável

Máquinas 4.0

Armazenamento inteligente da produção

Obrigado pela atenção!

andre.zanatta@sc.senai.br

edson.costa@sc.senai.br

andre.mattei@sc.senai.br

(47) 3441-7783

(48) 3239-5706