

# FERRAMENTARIA 4.0

POR THOMAS GOMES DOS SANTOS - ANDRÉ ROSIAK -  
DIEGO PACHECO WERMUTH - LÍRIO SCHAEFFER

**A**pós um aumento contínuo na demanda por ferramentas até 2018, algumas mudanças no mercado internacional foram observadas. É o que mostrou a última edição do *World of Tooling* de 2018 [1]. Este estudo fornece informações detalhadas do cenário global dos mercados de ferramentas. Segundo o estudo, apesar das incertezas nos negócios internacionais e da difícil situação econômica geral, muitos mercados de fabricação de ferramentas tiveram um desenvolvimento positivo, como demonstra a figura 1. Este é o caso dos mercados de ferramentas da China, Alemanha, França, Tailândia, Brasil, Eslováquia e Filipinas, que experimentaram as mudanças mais significativas em relação a 2018 [1].

Apesar de números gerais positivos, algumas especificidades da produção brasileira ainda preocupam. Esse é o caso das exportações, que correspondem a uma parcela muito pequena da produção. O Brasil, ainda que possua interessantes redes locais de ferramentaria, fabrica quase exclusivamente para o mercado interno figura 2.

Para inverter esse cenário e aumentar sua competitividade em escala internacional, o Brasil deve atender à crescente demanda global por fabricação de ferramentas inteligentes. O *World of Tooling* evidenciou que a persistente instabilidade nos negócios globais está incentivando as empresas voltadas para produção em larga escala a direcionar investimentos para o desenvolvimento de ferramentas inteligentes. Dessa maneira, ao contar com ferramentas de maior confiabilidade, torna-se possível realizar economias significativas e superar os desafios relacionados à produção de ferramentas.

Em virtude da relevância deste tema, o presente artigo aborda, de maneira aprofundada, os principais aspectos e abordagens de ponta associados a essa tendência, que atualmente desponta nas ferramentarias.

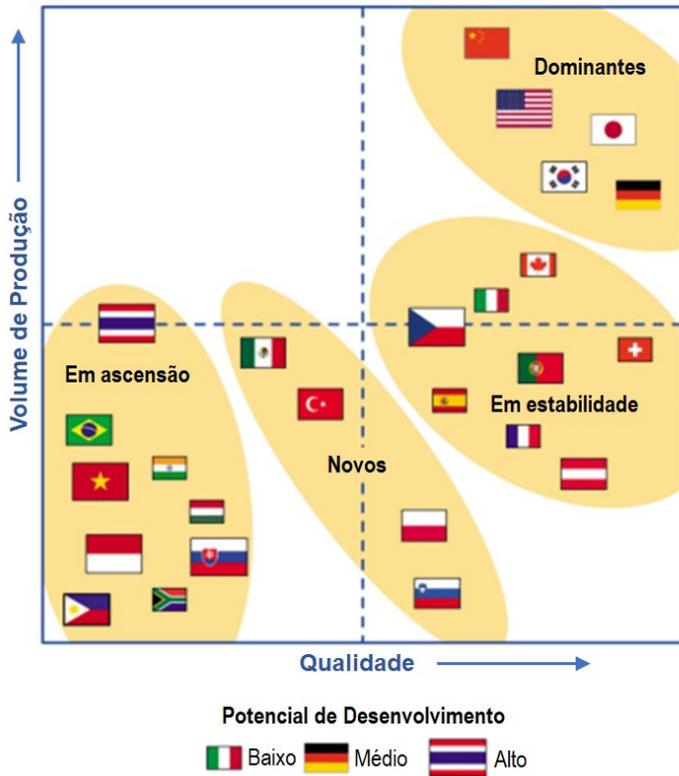


Figura 1: Comparativo levando em conta a qualidade na fabricação de ferramentas e potencial de desenvolvimento [1]



Figura 2: Mercado de ferramental brasileiro no período 2013/2016 [Adaptado de Boos et al (2022)]

### INDÚSTRIA 4.0 NAS FERRAMENTARIAS

A evolução no tempo e na qualidade na produção de ferramentas tem sido possibilitada pelo avanço na tecnologia de usinagem, incluindo fresamento, torneamento, erosão e retificação. Essas técnicas permitem a redução no tempo de fabricação e maior precisão nas tolerâncias requeridas. A automação adicional, como unidades de controle CNC, e trocadores de ferramentas e peças, também contribuíram para a eficiência do processo de fabricação. Empregando estes conceitos, entre 2004 a 2015, os fabricantes de ferramentas alemães melhoraram a média de vida útil de suas fresadoras em 38%, chegando a 3.547 horas por ano, e aumentaram a proporção de horas de usinagem por hora de operador em 72% [1].

#### MÁQUINA-FERRAMENTA 4.0

Ao longo da evolução das máquinas-ferramentas (figura 3), os esforços de aprimoramento nunca cessaram, visando torná-las mais rápidas, precisas, confiáveis, flexíveis e seguras, além de mais econômicas e eficientes em termos de recursos [2, 3]. Ademais, a ideia de máquina-ferramenta 4.0 (MT 4.0) define uma nova classe de equipamentos, como o CPPS (Sistemas Ciber Físicos de Produção), que são mais inteligentes, conectadas, acessíveis, adaptáveis e autônomas. Com o MT 4.0, as máquinas-ferramentas se transformam em provedoras de serviços e soluções, em vez de equipamentos isolados de fabricação, possibilitando total integração vertical e horizontal [4, 5].

Com a ideia de MT 4.0, as máquinas-ferramentas evoluem para sistemas de produção ciber-físicos (figura 4), que não só estarão conectados, mas também mais inteligentes, seguros, confiáveis e adaptáveis. Sua integração vertical e horizontal no processo de produção e nas instalações fabris é profunda e sem precedentes, sendo a fabrica-



Figura 3: Evolução das máquinas-ferramentas ao longo das grandes revoluções industriais

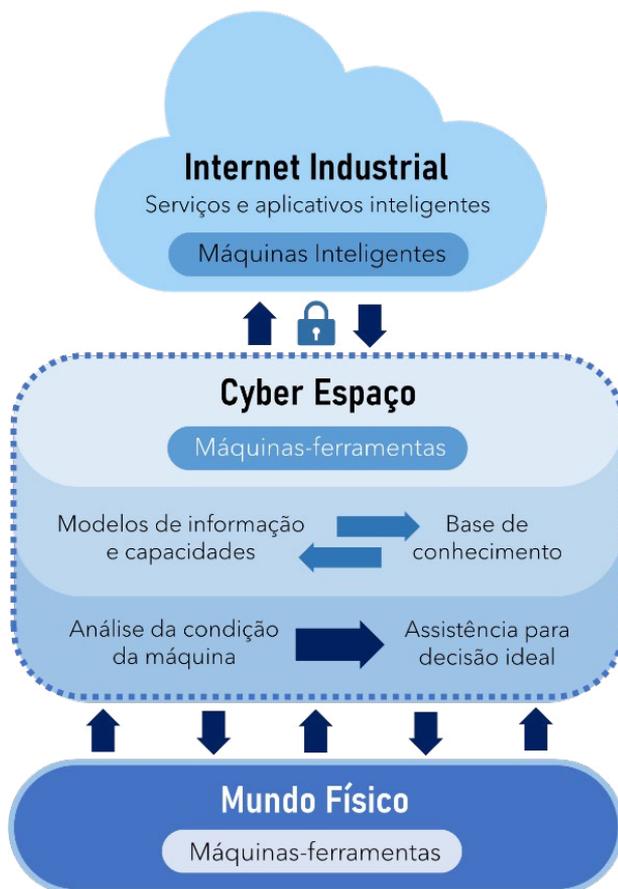


Figura 4: Sistemas de produção ciber-físicos

ção baseada em modelos um meio de alcançar essa integração [6].

**CADEIA INTEGRADA DE PROCESSOS DE MANUFATURA**

O futuro da fabricação de ferramentais é inteligente: a Indústria 4.0 está avançando rapidamente e exige não apenas fábricas inteligentes, mas também ferramentais inteligentes. A análise de dados e a adaptabilidade são essenciais para se manter atualizado. Na figura 5 é possível observar os diferentes níveis de maturidade da indústria 4.0.

Automação, medição e *feedback* podem fornecer controle de processo em todos os estágios de fabricação. Os processos otimizados monitoram não apenas a condição das peças, mas também o desempenho das máquinas, tendências do processo, intervenções e efeitos ambientais. A transferência permanente de dados na produção em série, usando ferramentas de auto previsão e auto otimização, aumentará

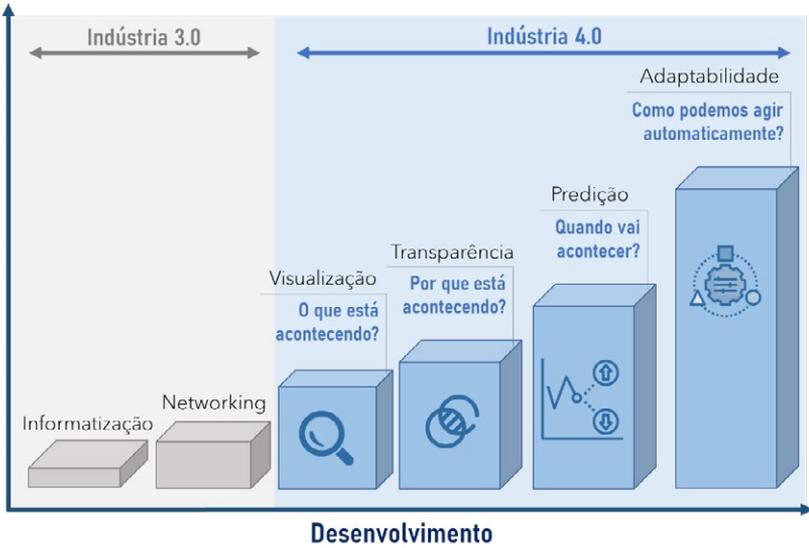


Figura 5: Evolução da indústria 4.0 [7]

significativamente o desempenho de valor dos ferramentais, enquanto os custos de manutenção diminuirão notavelmente.

**MANUFATURA HÍBRIDA**

A manufatura híbrida é um conceito que combina diferentes processos de fabricação em um único processo

(figura 6), como a produção aditiva e subtrativa, para aproveitar os pontos fortes de cada técnica e alcançar resultados melhores e mais eficientes em termos de custos e tempo. Esse conceito tem sido amplamente aplicado na indústria 4.0 para criar produtos personalizados e de alta precisão, como as matrizes utilizadas na indús-

Técnica de produção	Manufatura Subtrativa (e.g. fresamento CNC)	Manufatura Aditiva (e.g. LMD)	Manufatura Híbrida para Indústria 4.0
<b>Aspecto analisado</b>			
Eficiência no uso de material/ aspecto ambiental	😊	😊	😊
Tamanho da peça (soluções mais comuns no mercado)	😊	😞/😡	😊
Liberdade de geometria/ complexidade da peça	😞/😊	😊	😊
Precisão dimensional/ Repetibilidade do processo	😊	😡	😊
Porcentagem de operações que agregam valor ao produto	😞/😊	😊	😊
Integração à empresa e comunicação através de IoT (Internet das Coisas)	😡	😡	😊
Manutenção preditiva integrada ao equipamento, facilitando operação	😡	😡	😊

Figura 6: Combinações de tecnologias aditiva e subtrativa

tria de moldes e ferramentas.

A manufatura híbrida na indústria 4.0 combina a produção aditiva e subtrativa em um único processo de fabricação, permitindo a criação de moldes e matrizes de alta precisão e personalizadas com mais eficiência e flexibilidade. A tecnologia oferece vantagens como redução de tempo e custos de produção, além de maior capacidade de personalização e criação de designs complexos.

**FERRAMENTAS INTELIGENTES - SMART TOOLS**

Com base no método universal de alcançar adaptabilidade, é possível identificar etapas cruciais para otimizar o processo: visualização, compreensão, previsão e, finalmente, adaptação. Cada etapa é caracterizada por uma maior capacidade de coletar e usar dados para agregar valor ao processo produtivo.

Na indústria de ferramentais, a Indústria 4.0 pode ser aplicada tanto internamente, na criação de valor dentro da empresa, quanto externamente, na definição de novos modelos de negócios. Duas áreas específicas de atividade para a criação de novos modelos de negócios são o desenvolvimento de *Smart Tools* e *Smart Services*. As *Smart Tools* coletam e utilizam dados de fabricação para aumentar a produtividade e a confiabilidade, reduzindo assim os custos de produção e melhorando os lucros dos clientes da indústria de ferramentais. As *Smart Tools* são equipadas com sensores que coletam dados para otimizar seu desempenho e evitar a queda na qualidade das peças produzidas, que pode ser causada por desgaste ou quebra da ferramenta. Uma ilustração de uma ferramenta inteligente pode ser observada na figura 7.

Para atender aos sistemas ciber-físicos e alcançar o objetivo de maior eficiência e produtividade, os ferramentais convencionais precisam ser atualizados. As empresas de ferramentais devem integrar componentes inteligentes, como sensores, atuadores e sistemas de controle, para



Figura 7: Representação da dinâmica de *Smart Tools*

permitir a comunicação com outros objetos no processo de produção e a coleta e processamento de dados do ambiente de produção. Isso permite determinar as relações de causa e efeito para selecionar a solução de atuador adequada. O "refinamento digital" dos ferramentais também permite o monitoramento remoto pelas empresas de ferramentais [7].

**FERRAMENTAS E SERVIÇOS INTELIGENTES - SMART TOOL & SMART SERVICES**

As *Smart Tools* são o primeiro e mais significativo passo na oferta de serviços inovadores e de valor agregado. Os serviços inteligentes ou *Smart Services* (figura 8) são definidos como serviços baseados em dados

específicos do cliente, resultantes da análise de grandes quantidades de dados para atender aos desafios específicos do cliente. A diferença em relação aos serviços disponíveis atualmente é o método de prestação, que agora é baseado em uma análise bem fundamentada dos dados. Portanto, a matéria-prima dos *Smart Services* são os *Smart Data* - dados coletados, convertidos, analisados e interpretados a partir dos processos de fabricação.

Neste situação, a utilização de algoritmos avançados de mineração de dados possibilita às empresas de ferramentais uma análise minuciosa, permitindo a identificação de padrões e anomalias desconhecidas nos processos de produção, que podem ser usadas de diversas maneiras



Figura 8: Representação gráfica do conceito *Smart Services* [Adaptado de Boos, et al (2017)]

para o desenvolvimento de serviços inteligentes. De maneira geral, os *Smart Services* têm o potencial de transformar o modelo de negócio das empresas de ferramentais, passando de uma perspectiva centrada no produto para uma perspectiva centrada no serviço. Nesse sentido, é fundamental que as ferramentarias redefinam seu posicionamento estratégico a fim de se prepararem para o desenvolvimento de *Smart Services*.

**CADEIA DE PROCESSO DIGITAL**

A proposta de linha de produção "inteligente" e "integrada" é diferenciada pela sua abordagem de monitoramento e coleta de dados. Como ilustrado na figura 9, cada etapa da linha de fabricação é equipada com sensores para monitorar o processo em tempo real. Esse monitoramento em tempo real permite capturar imediatamente as condições do ambiente de trabalho, possibilitando o processamento de dados e a retroalimentação (*feedback*, correção) para otimização contínua do processo de fabricação. Tais correções podem ser realizadas de forma autônoma por meio de algoritmos de software ou manualmente, usando interações homem-máquina (IHM). Para inspeção da qualidade dos produtos impressos em linha, sensores inteligentes e câmeras térmicas são exemplos de dispositivos que podem ser utilizados na aquisição de dados em tempo real.

Após serem coletados, todos os dados passam por um processo de filtragem e análise, visando selecionar somente aqueles que representam a impressão digital da qualidade do produto. Em seguida, esses dados são encaminhados para o terceiro nível da infraestrutura, onde são coletados, interpretados, analisados e correlacionados com as informações provenientes das etapas de pré-fabricação (projeto e simulação) e pós-fabricação (aplicação do ferramental, manutenção e fim de vida). Com isso, é possível identificar oportunidades de otimização em todas as etapas do ciclo de vida completo do ferramental, contribuindo para um processo mais eficiente e efetivo.



Figura 9: Estrutura de dados para integração digital de um processo [8]

**CONCLUSÃO**

Uma nova era de fabricação definida pelo conceito de Indústria 4.0 está chegando. As tecnologias subjacentes e os antecedentes de TI são a Internet das Coisas (IoT) e a Internet dos Serviços (IoS). Em um ambiente fabril, os sistemas de produção ciber-físicos são a base sobre a qual as fábricas inteligentes podem ser estabelecidas e executadas com eficiência. Como elemento-chave de qualquer sistema de produção, espera-se que as máquinas-ferramenta façam mudanças graduais na chamada Máquina-Ferramenta 4.0. Com o conceito MT 4.0, as máquinas-ferramenta se tornam sistemas de produção ciber-físicos. Eles não apenas estarão bem conectados, como também se tornarão mais inteligentes, seguros, confiáveis e adaptáveis. A extensão em que eles são vertical e horizontalmente integrados ao processo de produção do produto e às instalações de produção no nível da fábrica é profunda e sem precedentes.

A fabricação baseada em modelos ajuda a realizar essa integração. O Machine Tool 4.0 está configurado para transformar uma máquina-ferramenta de uma mercadoria de produção física em um sistema de serviço de produto e um recurso de nuvem. Esta nova geração de máquinas-ferramenta exige um esforço coletivo dos fabricantes, usuários e pesquisadores de máquinas-ferramenta para definir um roteiro para o desenvolvimento de tecnologia e uma estratégia para implementação na indústria. A Machine Tool 4.0 está em fase com a Indústria 4.0 e ambas estão chegando.

**REFERÊNCIAS**

[1] Boos, Wolfgang; Lukas, Gerret; Kessler, Niklas; Schweins, Julian. World of Tooling – a market overview. European tool & mould making: ETMM 24(5), Seiten/Artikel-Nr.:22-25 2022. [on line] <https://www.etmm-online.com/world-of-tooling-a-market-overview-a-cba7ced8d6088d42dfdad-5c57e054b18/>

[2] Behrendt T, Zein A, Min S (2012). Development of an energy consumption monitoring procedure for machine tools. CIRP Ann Manuf Technol 61(1):43–46

[3] Mori M, Fujishima M, Inamasu Y, Oda Y (2011). A study on energy efficiency improvement for machine tools. CIRP Ann Manuf Technol 60(1):145–148

[4] Uhlmann E, Eßmann J, Wintering J-H (2012). Design- and control-concept for compliant machine tools based on controller integrated models. CIRP Ann Manuf Technol 61(1):347–350

[5] Xu Y, Zhang L, Wang S, Du H, Chai B, Hu SJ (2015). Active precision design for complex machine tools: methodology and case study. Int J Adv Manuf Technol 80(1–4):581–590

[6] Xu, X. Machine Tool 4.0 for the new era of manufacturing. Int J Adv Manuf Technol 92, 1893–1900 (2017). <https://doi.org/10.1007/s00170-017-0300-7>

[7] Boos, Wolfgang; Salmen, Michael; Begovic, Advan; Goertz, David. Smart Tooling: Smart Tools and Smart Services. European tool & mould making: ETMM 17(3), Seiten/ Artikel-Nr.:22-25 2017. [on line] <http://www.etmm-online.com/smart-tooling-smart-tools-and-smart-services-a-583918/>

[8] Mandaná Moshiri, Amal Charles, Ahmed Elkaseer, Steffen Scholz, Sankhya Mohanty, Guido Tosello. An Industry 4.0 framework for tooling production using metal additive manufacturing-based first-time-right smart manufacturing system. Procedia CIRP, Volume 93, 2020, Pages 32-37, ISSN 2212-8271, <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.04.151>



**Thomas Gomes dos Santos** - Mestre em engenharia de minas metalúrgica e de materiais pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, com ênfase em processos de fabricação. Possui graduação em Fabricação Mecânica pela Universidade Federal de Santa Maria (2015) e mestrado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (2019). Tem experiência na área de Engenharia Mecânica, com ênfase em Processos de Fabricação, atuando principalmente nos seguintes temas: usinagem, conformação a frio, otimização por elementos finitos, curvas de calibração de atrito e medida de forças. <http://lattes.cnpq.br/8921827602333189>. [thomasgomesdosantos@gmail.com](mailto:thomasgomesdosantos@gmail.com)

**André Rosiak** - Graduação em Engenharia Metalúrgica pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (2018) e mestrado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais na mesma instituição (2020). Atualmente aluno de doutorado do Programa de Pós Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais (PPGE3M) da UFRGS. Pesquisas relacionadas aos processos de conformação mecânica e análises numérica dos processos. Experiência docente como Professor Substituto no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense (IFSul-Novo Hamburgo), lecionando para o Curso Técnico de Mecatrônica. Experiência em ferramentas CAD e CAE. Convívio tanto no setor de Produção como de Pesquisa/Docência. Experiência na área de Engenharia de Materiais e Metalúrgica, com ênfase em Propriedades Mecânicas dos Metais e suas ligas, atuando principalmente nas áreas de forjamento, estampagem e fundição. <http://lattes.cnpq.br/6858532087225201>. [andre.rosiak@ufrgs.br](mailto:andre.rosiak@ufrgs.br)

**Diego Pacheco Wermuth** - Pesquisador no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais (PPGE3M) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Possui Pós-Doutorado em Engenharia Metalúrgica, com ênfase em novos processos de fabricação para produtos do setor da saúde, pelo Departamento de Metalurgia (DEMET) da Escola de Engenharia da UFRGS (2022). Doutor em Engenharia, com ênfase em de Processos de Fabricação pelo PPGE3M da UFRGS (2020). Mestre em Engenharia pelo PPGE3M da UFRGS (2015). Graduado em Tecnologia de Fabricação Mecânica pelo Instituto Federal Sul-Rio-Grandense (IFSUL) (2012). Possui formação Técnica em Transformação de Termoplásticos pelo IFSUL (2008). Tem experiência na área de Engenharia Mecânica, Manutenção Industrial, Processos de Fabricação, Injeção Plástica e Moldagem por Injeção de Pós Metálicos. Em 2020 fundou a W BIOMEDICAL TECHNOLOGY, empresa que atua no desenvolvimento e aperfeiçoamento de produtos para a área da saúde, utilizando tecnologias inovadoras. <http://lattes.cnpq.br/0961968808843583> [diegowermuth@ufrgs.br](mailto:diegowermuth@ufrgs.br)

**Lirio Schaeffer** - Engenheiro Mecânico, Doutorado em Conformação Mecânica - Rheinisch-Westfalischen Technischen Hochschule/Aachen/Alemanha (1982). Professor Titular na Universidade Federal do Rio Grande do Sul/UFRGS - Departamento de Metalurgia e atua no Laboratório de Transformação Mecânica (LdTM), exercendo atividades principalmente nas seguintes áreas: forjamento, estampagem, metalurgia do pó, materiais biomédicos e materiais e processos para energias alternativas. Fez parte do CA-MM do CNPq durante 4 anos. Atualmente é consultor ad hoc da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS), da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), consultor do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Consultor da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) e do Ministério da Ciência tecnologia e Inovações. Recebeu prêmio de Pesquisador Destaque Gaúcho pela FAPERGS em 1998 Orientou 156 Dissertações de Mestrado e 53 Teses de Doutorado. Foi Chefe do Departamento de Metalurgia/DEMET e Coordenador do Programa de Pós Graduação em Metalurgia Materiais e Minas /PPGE3M da UFRGS. Participante do Conselho Universitário /CONSUN. Foi Reitor Substituto da UFRGS por alguns dias. <http://lattes.cnpq.br/1093242836059112>. [schaeffer@ufrgs.br](mailto:schaeffer@ufrgs.br)

FAÇA A DIFERENÇA,  
FAÇA COM **TopSolid**



A mais completa e Integrada solução de  
**CAD CAE CAM PDM ERP** para as ferramentarias.

### Fábrica Digital Integrada



**Solicite uma demonstração!**

[vendas@topsolid7.com.br](mailto: vendas@topsolid7.com.br)



[www.topsolid.com](http://www.topsolid.com)