

A INOVAÇÃO INCREMENTAL NO PROCESSO DE USINAGEM EM RELAÇÃO AOS MATERIAIS DAS FERRAMENTAS DE CORTE

THE INCREMENTAL INNOVATION IN THE MACHINING PROCESS IN RELATION TO CUTTING TOOL MATERIALS

Marcelo Santos Damião ¹

Data de entrega dos originais à redação em: 13/08/2018
e recebido para diagramação em: 02/12/2019

O processo de usinagem sempre se desenvolveu pelas inovações demandadas pelo crescimento contínuo por produtos com qualidade e acessíveis a toda sociedade, ávida pelo consumo, sendo a inovação um dos conceitos mais desejados na indústria atual, este artigo caracteriza o desenvolvimento dos materiais para ferramentas de corte como inovação incremental, concluindo como importante para o desenvolvimento técnico-científico e consequente respeito internacional para os países que investem em programas de inovação.

Palavras-Chave: Inovação incremental. Ferramentas de Corte. Usinagem.

The machining process has always developed by innovations demanded by the continuous growth by products with quality and accessible to every society, avid for consumption, being innovation one of the most desired concepts in current industry, this article characterizes the development of materials for cutting tools as incremental innovation, concluding as important for technical-scientific development and consequent international respect for the countries that invest in innovation programs.

Keywords: Incremental Innovation. Cutting Tools. Machining.

1 INTRODUÇÃO

A partir do século XX, houve a intensificação do processo de inovação nas empresas, como relata Porter (1986), foi a razão, e fonte principal da mudança estrutural da indústria.

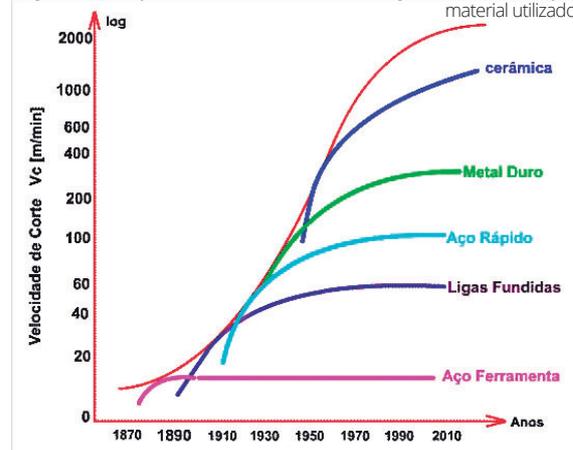
“É importante destacar que inovação é um conceito em constante aperfeiçoamento e sujeito à diferentes abordagens (as primeiras edições do Manual de Oslo não abrangiam inovações de marketing, por exemplo). As abordagens também variam de acordo com as mudanças no mercado global e com as iniciativas políticas correlatas. Essa multiplicidade decorre também do fato de que muitas atividades de inovação são etapas científicas, tecnológicas, organizacionais, financeiras ou comerciais, todas elas visando a implementação de inovações” (SILVA, 2013).

As inovações de caráter incremental, destacadas neste estudo, são aquelas que apenas aperfeiçoam os produtos, processos e organização da produção sem alterar a estrutura já existente (LEMOS, 1999).

Trent (1984) indica os processos de usinagem, em todos os países industrializados, como os mais usados na indústria metalmeccânica, com custos associados superiores a 15% do valor de todos os produtos manufaturados. De acordo com Ferraresi (1970) a usinagem corresponde ao processo que (...) confere à peça a forma ou as dimensões ou o acabamento, ou qualquer combinação destes três itens, produzem cavaco, e, especificamente, nas ferramentas de corte (ponto crítico com relativo baixo custo na usinagem)

que houve expressivo e constante desenvolvimento desde o final do século XIX (inovação incremental) resultando, principalmente, no aumento da vida útil e a velocidade de corte. A vida útil da ferramenta de corte pode ser definida como o tempo em que a mesma trabalha efetivamente, sem perder a capacidade de corte, dentro de um critério previamente estabelecido (...) (GODOY et al. 2003) e a velocidade de corte é definida por Ferraresi (1970) como a velocidade instantânea do ponto de referência da aresta cortante da ferramenta, segundo a direção e o sentido de corte, estando diretamente relacionada ao desempenho da máquina-ferramenta. A figura 1 apresenta o aumento da velocidade de corte com o passar do tempo em relação ao material utilizado na confecção das ferramentas de corte.

Figura 1 – Variação da velocidade de corte ao longo dos anos em função material utilizado

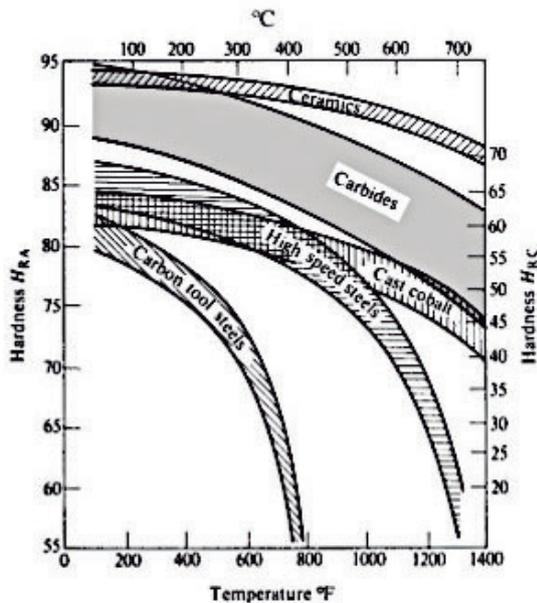


Fonte: CIMM

1 - Professor Especialista do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo. <msdamiao@ifsp.edu.br >

A ferramenta de corte quando em operação é submetida a altas temperaturas da ordem de até 1000°C. (DeGARMO et al. 1997) que influencia, consideravelmente, suas características originais de dureza (quanto maior a temperatura menor a dureza), figura 2, entretanto, a alternativa de diminuir a velocidade de corte para melhorar o desempenho ou a vida útil da ferramenta acarretará baixa produtividade, portanto, inviabilizada pelo consequente aumento nos custos industriais.

Figura 2 - Variação da dureza do material em função da temperatura



Fonte: SHAW, 2005

Tabela 1 - Relação entre o material da ferramenta de corte e as variáveis: velocidade de corte e temperatura

Material	Principais elementos	Velocidade de Corte m/min.	Temperatura C°
Aço Ferramenta	Aço-Carbono	15	250
Aço Rápido	Aço-Carbono-Elementos de Liga	25	600
Metal duro	Tungstênio-Cobalto	200	1000
Cerâmicas	Óxido de Alumínio e Nitreto de Silício	2000	1600

Fonte: elaborado pelo autor

Para Stemmer (1995), as propriedades desejáveis em uma ferramenta de corte são; resistência à compressão, flexão, e abrasão, com dureza à quente, tenacidade e estabilidade química, sendo o maior desafio no desenvolvimento da ferramenta de corte o compromisso entre a dureza e a tenacidade, visto que são duas propriedades de extrema importância para o desempenho da ferramenta de corte e que não são facilmente encontradas em um mesmo material (AMORIM, 2002), constatadas pela OCDE (1997) com o grau de intensidade tecnológica das ferramentas de corte ser media-alta.

Os dois tipos de materiais mais comuns usados nas ferramentas de corte destinadas as operações tradicionais são os aços rápidos e o metal duro, que juntos somam 90% das aplicações na indústria moderna. Outros materiais mais avançados tais como o nitreto de boro cubico (CBN), cerâmica e diamantes detêm 10% das aplicações (KOELSCH, 2000).

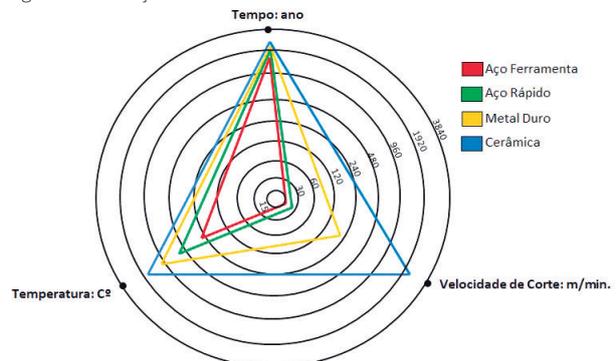
Este artigo apresenta e discute a relação existente entre a inovação incremental e o aumento

da produtividade na usinagem com ferramentas de geometria definida, tendo como variável o desenvolvimento de novos materiais das ferramentas de corte em sua ordem cronológica: aço ferramenta, aço rápido, metal duro e cerâmico.

2 INOVAÇÃO E A FERRAMENTA DE CORTE

A identificação das inovações relacionadas as ferramentas de corte foi realizada por meio de pesquisa bibliográfica em bases de dados (<https://scholar.google.com.br>) por meio de palavras-chave: processos de usinagem, ferramentas de corte, produtividade industrial, inovação, assim como: livros, normas, apostilas e revistas relevantes para reflexão e contextualização do tema. A ênfase foi dada as variáveis; velocidade de corte e a temperatura operacional, dada à importância destas grandezas no desempenho do processo, porém, apesar de não serem motivos de análise neste estudo, reconhece avanços importantes que também contribuíram para o aumento da produtividade na usinagem como; materiais avançados, revestimentos, geometria de corte, fluidos de corte e a própria máquina-ferramenta com a utilização da tecnologia (HSM) *Higt Speed Machining* que relaciona um conjunto de variáveis de alta eficiência entre a máquina e a ferramenta. A tabela 1 apresenta os valores aproximados da velocidade de corte e a temperatura operacional dos materiais das ferramentas de corte com seus principais elementos constituintes para torneamento em aço, e a figura 3 apresenta a inovação incremental dos materiais das ferramentas de corte no torneamento em aço.

Figura 3 - Inovação incremental dos materiais das ferramentas de corte

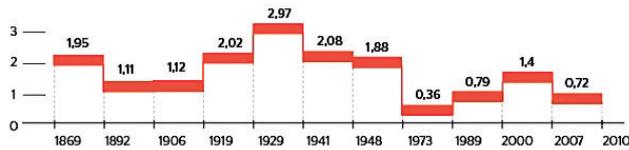


Fonte: elaborado pelo autor

No início da usinagem, as ferramentas eram pouco eficientes e se desgastavam rapidamente (aço ferramenta) o que provocava várias interrupções nas linhas de produção, gerando baixa produtividade, como documentado pelo engenheiro inglês Richard

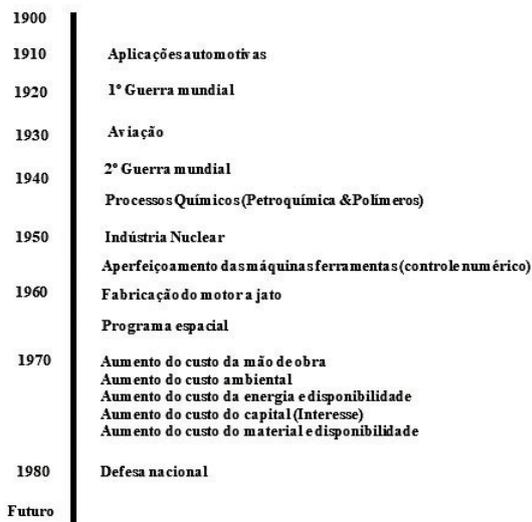
Reynolds em 1760, sobre as dificuldades ocorridas com a usinagem durante a construção de sua máquina a vapor (DE JESUS, 2004). Na II Revolução Industrial a humanidade passou a desfrutar da produção em massa de bens duráveis, esta mudança de paradigma gerou um intenso desenvolvimento técnico-científico, resultando na primeira definição de inovação, criada por Joseph Schumpeter no final de 1920, que ressaltou o aspecto de novidade (CROSSAN e APAYDIN, 2010), confirmada na OCDE (1997) que a inovação de processo é a implementação de um método de produção ou distribuição novo ou significativamente melhorado. Nos Estados Unidos, entre 1919 e 1973, o aumento considerável da produtividade da indústria metalmeccânica foi gerado, principalmente, pelas demandas da II Guerra Mundial e reconstrução da infraestrutura nos Pós-Guerras Mundiais, figura 4, coincidindo com o uso intenso das inovações incrementais das ferramentas de corte; aço rápido, metal duro e o uso crescente da cerâmica depois da década 50. Para Shaw (2005), novas áreas tecnológicas surgiram depois de 1945, o que viabilizou a produção de novos materiais, resultando em máquinas ferramentas com maiores velocidades de corte, que refletiram em uma maior disponibilização de produtos para o consumo de bens industrializados, a figura 5 corrobora o desenvolvimento tecnológico e relaciona outros avanços, processos e produtos, em ordem cronológica de tempo.

Figura 4 - O aumento percentual da produtividade da indústria Americana



Fonte: Alexander Field/Universidade Santa Clara apud CORONATO et al. 2018

Figura 5 - Data aproximada da introdução de novos produtos/ processos e algumas consequências

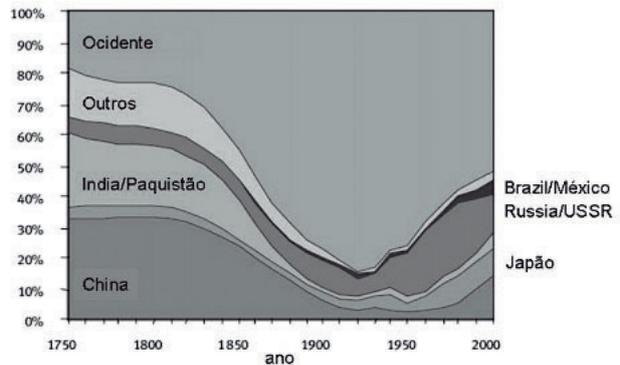


Fonte: Adaptado SHAW, 2005

Apesar de o ocidente concentrar cerca de 80% da produção industrial mundial por volta do ano de 1930, figura 6, devido à supremacia alcançada com as inovações industriais introduzidas pelo desenvolvimento

crescente nas ferramentas de corte, com o início globalização moderna, essa hegemonia decresceu em função da transferência tecnológica para os países em desenvolvimento com custos de produção menores, esses países, sem possuírem capacidade tecnológica plena, passaram a adquirir, assimilar e aprimorar a nova tecnologia, respondendo com aumento contínuo de sua participação na produção mundial (LEE et al. 1988).

Figura 6 - Distribuição da produção mundial desde a I Revolução Industrial



Fonte: TSENG, 2003

Segundo Cruz (2000) as empresas são as principais forças inovadoras de um país, deste modo, o papel principal que o governo deve exercer no que tange a inovação tecnológica dever ser, portanto, o de prover os incentivos corretos ao desenvolvimento e a difusão de inovações por parte do setor privado, contando com o apoio governamental nas ações diretas e indiretas representadas na figura 7, amplamente utilizados pelos países altamente industrializados e inovadores, figura 8, que são sede das melhores empresas fabricantes de ferramentas de corte, dominando um mercado mundial extremamente lucrativo e estratégico.

Figura 7 - Ações diretas e indiretas do governo para inovação tecnológica



Fonte: PACAGNELLA, 2006

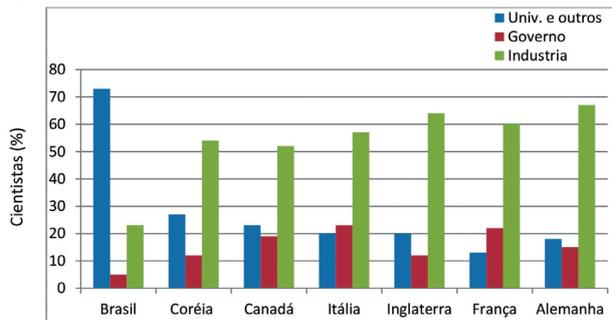
Figura 8 - O ranking dos 10 países com economias mais inovadoras

1º	Coreia do Sul
2º	Suécia
3º	Alemanha
4º	Suíça
5º	Finlândia
6º	Cingapura
7º	Japão
8º	Dinamarca
9º	Estados Unidos
10º	Israel

Fonte: Revista Época, 2017

Na figura 9, constata-se que em países inovadores os pesquisadores atuam mais nas indústrias e menos no governo e universidades, concordando Cruz (2005) com Tunes (2015) quando relata que a inovação geralmente ocorre de forma não formal, ou seja, não desenvolvido no campo da ciência em laboratórios de pesquisa, mas sim, em muitos casos, no contato direto da empresa com o mercado, na relação com fornecedores e clientes, aproximando-se muita da concepção interativa de inovação.

Figura 9 - Setor onde atua os pesquisadores em diversos países



Fonte: Adaptado de CRUZ, 2005

Como exemplos de lideranças mundiais na produção científica mundial representada na (WoS) *Web of Science*, destacam-se: Estados Unidos, Japão, países da União Europeia e, nas últimas décadas, a China desafia esta hegemonia juntamente com outras nações em crescente desenvolvimento científico e tecnológico, reunidos sob a sigla BRICS: Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul (GLÄNZEL et al. 2008). Engenheiros especialistas de empresas de referência mundial de ferramentas de corte como: Diamond Innovation, Dormer e a Sandvik Coromant citaram uma variedades de fatores que estão influenciando a natureza e o uso das ferramentas de corte e estão moldando os novos caminhos como o desenvolvimento de novos materiais ultraduros (COSTA, 2018), destacam-se as de cerâmica como sendo um seguimento muito promissor na área de ferramentas de corte (LANNA et al. 2004) e revestimentos como: carbonetos de tântalo (TaC), titânio (TiC) e, principalmente, alumina (Al₂O₃) (AMORIM, 2002). "Um material interessante para o futuro é o grafeno, que rendeu a pesquisadores um prêmio Nobel em 2010" (BACKMAN, 2015). As inovações incrementais dos materiais das ferramentas de corte não param e projeta-se uma tendência para o futuro o desenvolvimento de nano partículas de substrato para aplicação em ferramentas de corte, quanto mais finas as partículas do substrato maiores serão a dureza e sua resistência mecânica, (CHRISTOFFEL, 2001), figura 10.

3 DISCUSSÃO

A sociedade, através do consumo, ativa a competitividade na indústria, a qual investe em pesquisa e desenvolvimento (P&D) para atender ao mercado com produtos melhores e mais baratos, promovendo inovações globalizadas. Apesar de a usinagem em parte estar sendo substituídas por outros processos, como a metalurgia do pó, através da inovação incremental das ferramentas de corte as máquinas ferramentas ainda são capazes de fabricar produtos complexos com custos

competitivos. Dada a importância da palavra inovação, que ela é destaque em praticamente todas as missões dos principais fabricantes de ferramentas de corte, e para ocorrer efetivamente um ambiente de inovação nos países, os governos precisam investir massivamente em programas destinados a garantir a competitividade e a liderança tecnológica, atraindo centro de pesquisas de referência mundial, na Alemanha, por exemplo, é chamada de "Indústria 4.0".

4 CONCLUSÃO

Fundamentado no conceito de inovação, pode-se associar a evolução das ferramentas de corte como inovação incremental, isto é, mudanças significativas nos materiais de sua confecção, permanecendo inalterada a função principal de remoção de cavaco na usinagem, a qual trouxe e ainda trará ganhos consideráveis para as indústrias dependentes da usinagem, impulsionando toda uma cadeia de desenvolvimento técnico-científico que é estratégico para países inovadores.

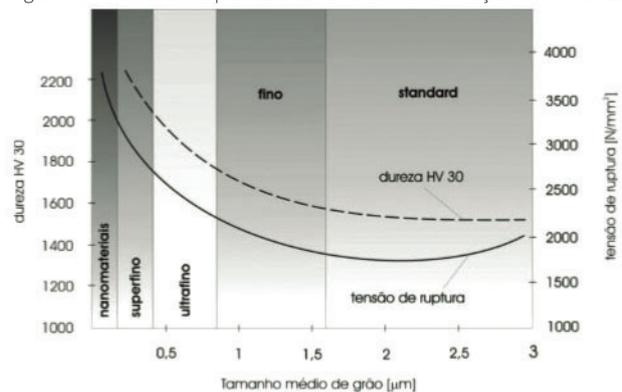
AGRADECIMENTOS

Ao Professor da UNESP de Bauru Dr. Galdenoro Botura Junior por suas aulas na disciplina: Tópicos de Inovação e Tecnologias em Ergonomia, na Pós-Graduação em Design.

REFERÊNCIAS

- AMORIM, H. J. Estudo da Relação entre Velocidade de Corte, Desgaste de Ferramenta, Rugosidade e Força de Usinagem em Torneamento com Ferramenta de Metal Duro. Dissertação (Mestrado). UFRS, 2002.
- BACKAMAN, A. Manufatura do Futuro – Saindo na Frente. *Revista metalworking World*, 2015.
- CIMM. Disponível em: <https://www.cimm.com.br/portal/material_didatico/4826-evolucao-das-velocidades-de-corte#.Wudi84jwblU>. Acesso em: 28 maio 2018.
- CHRISTOFFEL, K. High-Speed Machining – From a Tool Manufacturer's Perspective. In: Seminário Internacional de Alta Tecnologia-Manufatura Avançada. Piracicaba- SP. Anais... Piracicaba: UNIMEP, 2001.
- CORONATO, M.; PONTES, F.; KORTE, J. Disponível em <<http://revistaepoca.globo.com/Ciencia-e-tecnologia/noticia/2013/02/qual-maior-inovacao.html>>. Acesso em: 20 jun. 2018.

Figura 10 – Tamanho da partícula de substrato e sua relação com a dureza



Fonte: CHRISTOFFEL, 2001

- COSTA, H. N. Ferramenta de Corte e Usinagem HSM Permitem um Melhor Acabamento. Disponível em: <<http://moldesinjecaoplasticos.com.br/a-evolucao-de-acos-ferramentas-de-corte-e-usinagem-hsm-permitem-a-busca-por-um-melhor-acabamento/>>. Acesso em : 28 jun. 2018.
- CROSSAN, M.; APAYDIN. A Multi-Dimensional Framework of Organizational Innovation: A Systematic Review of the Literature. **Journal of Management Studies**. 47:6, 2010.
- CRUZ, C. H. B. A Universidade, a Empresa e a Pesquisa que o País Precisa. Parcerias Estratégicas, Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia, Centro de Estudos Estratégicos, nº 8, 2000.
- CRUZ, C. H. B. Palestra 3º CNCTI 2005. [S.l.: s.n.], 2005.
- DE JESUS, E. R. B. Ferramentas de Usinagem em Aço Rápido AISI M2 Obtido por Conformação por "Spray". Tese (Doutorado), Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. São Paulo, 2004.
- DeGARMO, E. P.; BLACK, J. T.; KOHSER, R. A. Materials and Processes in Manufacturing. 8 ed., Prentice Hall, 1997.
- FERRARESI, D. Fundamentos da Usinagem dos Metais. Editora Edgard Blucher, São Paulo, 1970.
- FIGUEIREDO, P, N. Aprendizagem Tecnológica e Inovação Industrial em Economias Emergentes: Uma Breve Contribuição para o Desenho e Implementação de Estudos Empíricos e Estratégicos no Brasil. Escola Brasileira de Administração Pública e de Empresas/Fundação Getúlio Vargas, 2004.
- GLÄNZEL, W.; DEBACKERE, K.; MEYER, M. 'Triad' or 'Tetrad'? On Global Changes in a Dynamic World. **Scientometrics, Budapest**, v. 74, nº 1, p. 71-88, 2008.
- GODOY, C. ÁVILA, R. F.; MARINHO, F. C.; LIMA, M. M.; ABRÃO, A. M.; PAULA e SILVA, E. M. Análise Topográfica por Perfilometria do Desgaste de Cratera em Ferramentas de Metal Duro Revestida com TiN. **Revista Matéria**, COPPE. UFRJ. v. 8, 2003.
- GUIMARÃES, J. A.; OLIVEIRA, J. F. G.; PRATA, A. T. Engenharia e Desenvolvimento no Brasil: Desafios e Perspectivas. Parcerias Estratégicas, nº 25, 2007.
- KOELSCH, J. R. Ferramentas de Carbetos: O Estado da Arte. **Máquinas e Metais**, v. 36, nº 415, 2000.
- LANNA, M. A.; SOUZA, J. V. C.; DA SILVA, C. R. M.; SILVA, O. M. M. Otimização de Custos de Produção de Ferramentas Utilizando Sinterização Normal. Anais do 48º Congresso Brasileiro de Cerâmica. Curitiba, PR, 2004.
- LEE, J.; BAE, Z. T.; CHOI, D.K., "Technology Development Processes: a Model for a Developing Country with a Global Perspective", in **R&D Management**, v.18, n.3, p.235-250, 1988.
- LEMOS, C. Inovação na Era do Conhecimento. In: LASTRES, Helena Maria Martins; ALBAGLI, Sarita (Org.). Informação e Globalização na Era do Conhecimento. Rio de Janeiro: Campus, p.122-144, 1999.
- OCDE – Organização de Cooperação e Desenvolvimento Econômico MANUAL DE OSLO. Diretrizes Para Coleta e Interpretação de Dados Sobre Inovação. 3º edição. Brasília. Ministério da Ciência e Tecnologia, 1997.
- PACAGNELLA JR, A. C. A Inovação Tecnológica nas Indústrias do Estado de São Paulo: Uma análise dos Indicadores da PAEP. Dissertação (Mestrado), USP. Ribeirão Preto, 2006.
- PORTER, M. E. Estratégias Competitivas: Técnicas para Análises da Indústria e da Concorrência. 7º Edição. Rio de Janeiro. Campus, 1986.
- REVISTA ÉPOCA. Disponível <<https://epocanegocios.globo.com/Empreendedorismo/noticia/2017/01/os-10-paises-mais-inovadores-do-mundo.html>> Acesso em 15 de junho de 2018.
- SILVA, D. C.; BOTURA, Jr. G.; PASCHOARELLI, L. C. Inovação e Pesquisa em Design nas Universidades Brasileiras. Design & Tecnologia. UFRGS, 2013.
- SHAW, M. C., Metal Cutting Principles. Oxford University Press. 2º ed. New York, 2005.
- STEMMER, C. E., Ferramentas de Corte I. 4. ed., Florianópolis: Editora da UFSC, 1995.
- TRENT, E. M. Metal Cutting. 2º ed. Butterworths, London, 1984.
- TSENG, M. M. Industry Development Perspectives: Global Distribution of World Market. In: CIRP GENERAL ASSEMBLY, 53. Montreal, Canada. Electronic Proceeding... 2003.
- TUNES, H. R. Geografia da Inovação. Território e Inovação no Brasil no século XXI. Tese (Doutorado). USP. São Paulo, 2015.