

Energia na Indústria: Uma análise de tendências utilizando o software CiteSpace

Andressa Sachetti (UFPR) - andressa.sachetti@ufpr.br
Nicolle Sotsek (UFPR) - nicollesotsek@yahoo.com.br
Fabiano Oscar Drozda (UFPR) - fabiano.drozda@ufpr.br

Resumo:

A energia é um dos recursos mais utilizados pela humanidade. Em particular a indústria, se destaca como consumidora de quase metade de toda a energia produzida no planeta. Devido a esta importância, este estudo teve como propósito identificar as principais linhas de pesquisas na área de energia inseridas mais em específico no contexto industrial, ressaltando o crescimento destes estudos nos últimos anos, os temas mais atuais, e se existem campos ainda não explorados pela academia. Foram utilizados a bibliometria como metodologia para avaliar um banco de dados extraído da plataforma *Web of Science* e o software *CiteSpace* para aprofundar as análises e tendências. Os resultados mostraram que os trabalhos com maior relevância na atualidade estão relacionados com métodos de previsão de consumo de energia voltados para máquinas e ferramentas. Esses métodos de previsão, utilizados principalmente nos processos de usinagem, são empregados para estimar o consumo de energia durante a manufatura dos produtos.

Palavras chave: *CiteSpace*, Energia, Indústria, Manufatura

Energy and Industry: A trend analysis using CiteSpace software

Abstract:

Energy is one of the most used resources by humanity, and industry accounts for about half of the energy produced on the planet. Due to the current role of industry in society, this study aimed at identifying studies about energy in the industrial context, the growth of these studies over the past years, the most popular research themes, and if any industry fields have not been studied yet. A bibliometrics methodology for evaluating a database extracted from the Web of Science online platform was adopted, and CiteSpace software was used in order to deepen the analyses. Data analysis showed that, nowadays, the most relevant studies are related to energy consumption forecasting methods for machines and tools. These methods, which are mainly used in machining, can be used to estimate the power consumption during the manufacturing processes.

Key-words: CiteSpace, Energy, Industry, Manufacturing

1. Introdução

Com o crescimento da população e o surgimento de novas necessidades é crescente a demanda por novos produtos, meios de transporte, e tecnologias que impulsionem os processos de transformação de bens. Para atender essa demanda muitos recursos são necessários, principalmente energia. (DAI, 2013)

Estima-se que nos últimos 60 anos o consumo de energia tenha dobrado, e muitas pesquisas já comprovaram que continuará crescendo nos próximos anos (GAHM, 2015). Atualmente, em torno de 13,8% da energia disponível vem de fontes renováveis, e como a indústria consome cerca de 50% da energia disponível no mundo, é necessária mudança para fontes energéticas que poluam menos o ambiente, métodos mais eficientes de produzir, e meios de distribuição que diminuam a perda desse recurso (GAHM, 2015).

A energia que é consumida para produzir os bens de consumo, é empregada em diferentes funções na indústria: alimenta os processos, maquinários, tem as funções de aquecer e resfriar produtos, além de iluminar e climatizar ambientes (EIA, 2016). Para fabricar um produto são necessários vários processos integrados, agregando valor da matéria prima até o produto acabado. Essas etapas requerem diferentes níveis de energia, e para um desempenho melhor dos produtos é útil avaliar o consumo e o custo energético, principalmente durante o desenvolvimento de um novo projeto, para saber tomar as decisões corretas sobre gestão da cadeia de suprimentos e sobre o ciclo de vida do produto (MANI 2014).

Quanto ao consumo, a indústria pode ser classificada em três tipos distintos: manufatura de energia intensiva, manufatura de energia não intensiva, e não manufatureira. A tabela 1 exemplifica estas classificações. A Indústria de Energia Intensiva é responsável pelo consumo da metade da energia que todos os setores da indústria consomem, ou seja, cerca de 27% da energia mundial. E a grande consumidora é a indústria química, principalmente aquelas que utilizam petróleo como matéria prima (EIA, 2016).

Divisões da Indústria	Exemplos
Manufatura de Energia Intensiva	Alimentícia, celulose, refinarias de petróleo, manufatura de metais não ferrosos, e de minerais não metálicos.
Manufatura de Energia Não Intensiva	Farmacêutica, de tintas, adesivos, e detergentes
Não Manufatureira	Agricultura, pesca, extração de minerais, e construção civil.

Fonte: Adaptado de Energy International Outlook (2016)

Tabela 1 – Classificação da indústria conforme o consumo de energia

Por ser um tema relevante para a indústria e também para a sociedade como um todo, existe uma vasta literatura abordando diversas perspectivas diferentes sobre o consumo de energia. Porém, como a expressão “energia” abrange muitas áreas de pesquisa que passam desde a engenharia, física, até as ciências sociais, é necessário utilizar uma metodologia para estratificar apenas as áreas de interesse. Um método eficaz de medir o crescimento ou decréscimo das publicações e citações da literatura é a bibliometria (TIJSSEN 1991; DU, 2012).

Bibliometria é definida por Tijssen (1991) como um termo genérico para análises quantitativas de características relevantes do conteúdo de textos científicos e tecnológicos através da pesquisa em publicações. Yuh-Shan Ho (2007), coloca que o método utiliza análises quantitativas e estatística para identificar e estudar padrões de publicações dentro de determinados temas, país, instituição ou série temporal, e que podem ser úteis para determinar a contribuição e o impacto de autores, ou investigar tendências dentro de um campo de pesquisa.

Devido a existência de uma grande diversidade de pesquisa na área de energia, esse artigo se limita a estudar as publicações que estejam relacionadas com estudos em engenharia, e tem como objetivo principal identificar as tendências científicas que podem influenciar o futuro da indústria o modo como se produz e se utiliza a energia.

2. Metodologia

Atualmente uma das bases de dados mais utilizadas para estudos bibliométricos é a *Web of Science* (WOS), uma plataforma multidisciplinar que oferece indicadores que permitem avaliar o avanço das pesquisas. A WOS classifica as publicações em “Áreas de Pesquisa” e dentro das áreas há uma divisão em “Categorias”, como por exemplo: a área “Engenharia” e a categoria “Engenharia Industrial” (GUIRADO, 2015). Para pesquisar sobre um assunto de

interesse dentro da plataforma WOS é necessário escolher inicialmente uma biblioteca, as palavras chave e o período que se deseja abranger a pesquisa.

A pesquisa realizada neste estudo foi feita dentro da “Bibliotecas principais da *Web of Science*” entre os anos de 1990 até 2016. Foram utilizados os termos de interesse em inglês e como operadores booleanos AND (E) e OR (OU). A palavra AND busca por todos os termos e a palavra OR por pelo menos um dos termos digitados.

As expressões de entrada no WOS foram “Energy AND Industrial” OR “Energy AND Manufacturing”, para encontrar publicações que citassem energia mais indústria e energia mais manufatura, evitando um resultado muito abrangente ou muito restritivo. Neste trabalho, a palavra manufaturar foi adotada como sendo o ato de produzir ou fabricar produtos dentro de uma indústria, manualmente ou com o auxílio de máquinas, e indústria como o conjunto de instalações, máquinas, funcionários, que através do emprego de técnicas de processamento transformam matéria prima em produto comerciável (Dicionário Oxford).

A base de dados retornada pela pesquisa continha título, palavras chaves, resumo e referências e foram salvas em formato ".txt", para servirem de dados de entrada no software. A ferramenta usada para análise bibliométrica foi o software *CiteSpace*, por tratar-se de uma ferramenta livre, de fácil manipulação e que permite identificar padrões na literatura. Segundo o desenvolvedor do software, Chen, o *Citespace* é uma ferramenta cientométrica que evidencia novas tendências na literatura e a evolução de áreas do conhecimento (CHEN, 2006).

O tipo de ligação escolhido entre as publicações foi o *Cited Reference*. Nesta configuração, as ligações são feitas com base no critério de co-citação, o que segundo o manual do software pode revelar tendências de pesquisa (CHEN, 2014). Os padrões de co-citação são estabelecidos do seguinte modo: o software lê as referências contidas nas publicações, e agrupa estas referências em *clusters* que podem ser nomeados de acordo com as palavras que mais aparecem, ou nos títulos, ou nas palavras chave, ou nos resumo dos textos (CHEN, 2006). A figura 1 é o modelo conceitual que representa a composição dos clusters e como o software os cria.

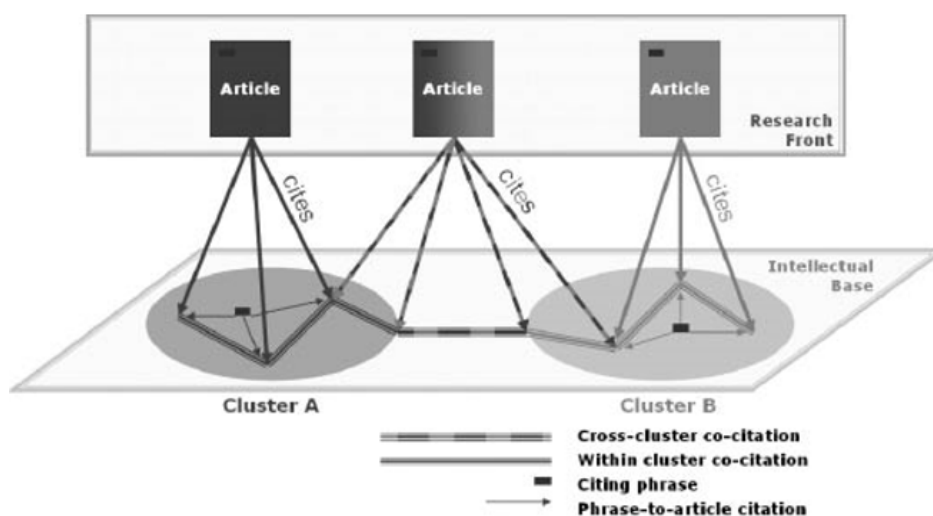


Figura 1 - Modelo conceitual do funcionamento do CiteSpace

E por fim, para completar a pesquisa fez-se a leitura dos resumos e/ou das publicações mais citados identificadas pelo modelo *CiteSpace*.

3. Resultados e Discussão

A pesquisa feita na biblioteca “Bibliotecas principais do *Web of Science*” entre os anos de 1990 até 2016 retornaram 57.652 resultados, sendo 22.894 classificados dentro da área “Engenharia”. A estratificação por “Categorias” resultou na tabela 2.

Categorias	Quantidade de Publicações
Engenharia Eletrônica	6.374
Engenharia Química	4.951
Engenharia Mecânica	4.310
Combustíveis	3.876
Engenharia Ambiental	3.548
Ciências Ambientais	2.849
Engenharia de Manufatura	2.291
Ciência dos Materiais	2.254
Engenharia Civil	1.571
Engenharia Industrial	1.452

Fonte: Adaptado de Web Of Science (2016)

Tabela 2 – Categorias do Web Of Science

Como o objetivo principal dessa pesquisa foi encontrar publicações sobre energia relacionadas com a área fabril, avaliou-se apenas aquelas classificadas dentro das categorias “Engenharia industrial”, “Engenharia de Manufatura” e “Ciências dos Materiais”, assim foi obtido um total de 6.297 publicações. Excluindo as publicações repetidas entre as “Categorias”, o resultado foi para 4.758 publicações. Reduzindo a pesquisa para os últimos nove anos, de 2007 a 2015 onde houve um crescimento muito expressivo de publicação e citações, o tamanho da amostra reduziu para 3.449 publicações.

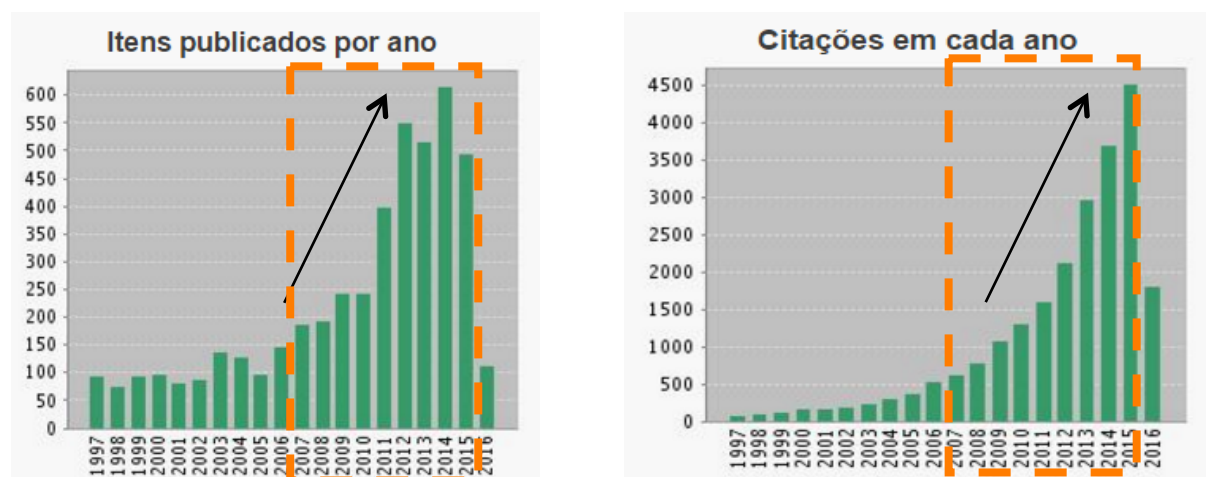


Figura 2 – a) Gráfico de publicações por ano e b) Gráfico de citações por ano

Neste período (figuras 2a e 2b), observa-se um crescimento em quase 3 vezes o número de publicações, saindo de 190 para 498. E, de quase 9 vezes em citações, saindo de 600 para 4500, mostrando a relevância e preocupação do tema energia dentro das indústrias. Tal

popularidade pode ser atribuída a uma combinação de fatores: flutuações de preços da energia, escassez de recursos, e a crescente demanda de energia principalmente pelos países em desenvolvimento. (NIE, YANG, 2016; EIA, 2016)

3.1 Formação dos clusters

Os *clusters* formados com base nos dados introduzidos no software *CiteSpace* foram transformados em representações gráficas, figura 3. Cada *cluster* foi nomeado de acordo com as palavras dos títulos mais citados. O resultado foi a da formação de 14 *clusters*. Entretanto, é apresentado apenas os 6 maiores, pois os demais eram pouco relevantes pela baixa quantidade de ligações contidas. O maior *cluster* é marcado com #0, e a sequência da numeração é feita inversamente ao tamanho do *cluster*. Também, quanto maior o *cluster*, mais relevante é a área de pesquisa representada por ele.

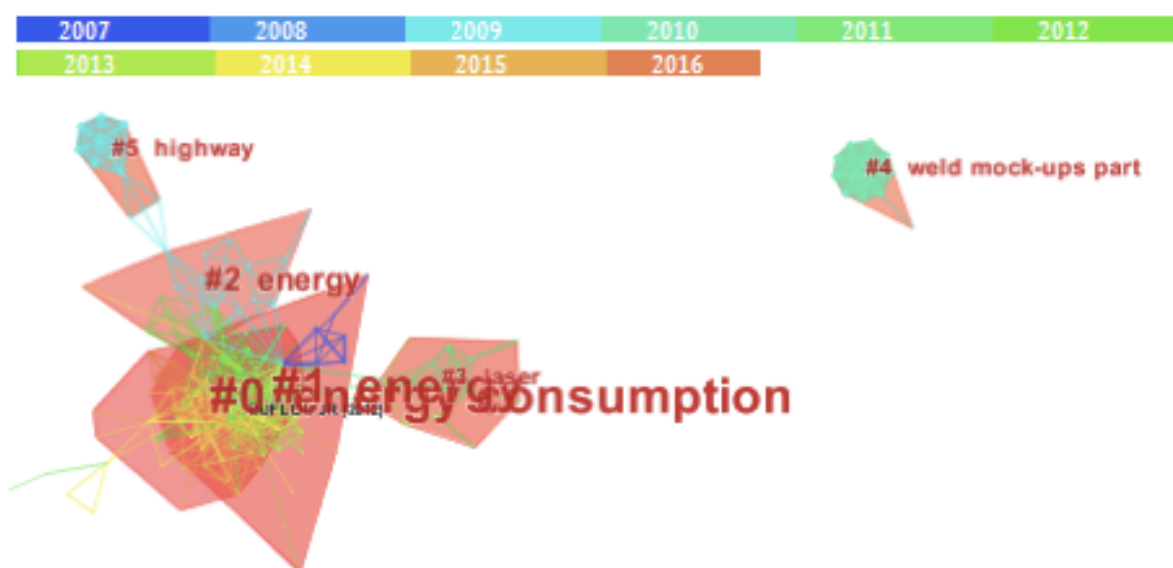


Figura 3 – Formação de *Clusters* por título das publicações

O *cluster* #0 foi denominado de *Energy Consumption* e possui 44 referências. Além do título, o software sugere também outros termos que expressam o conteúdo deste *cluster*, como *greenhouse gas*, referindo-se aos gases de efeito de estufa. Também aparecem expressões como o monitoramento de processos e modelos econômicos de produção. Isto indica que as publicações que deram origem a esse cluster abordam principalmente tópicos sobre controle e monitoramento do consumo de energia e da emissão de gases poluentes durante a fabricação.

O *cluster* #1 denominado de *Energy* possui 38 referências. Os termos deste *cluster* se assemelham ao do *cluster* #0, ou seja, ambos estão preocupados com a eficiência no processo de fabricação. Este cluster também sugere o termo *efficiency*, ou seja, ele contém publicações que abordam a otimização no uso de recursos. Além disso, aparecem os termos *production planning* e *scheduling* sugerindo que existe grande interesse em publicações que abordem métodos de programação e controle da produção.

O *cluster* #2 possui 21 referências, e também foi chamado de *Energy*, porém destaca-se por abordar um processo de fabricação e um material específico, no caso usinagem e titânio. O fato de ter um cluster dedicado a uma atividade de fabricação e de um material especificamente é compressível, pois as ligas de titânio, importantes na indústria aeronáutica, são conhecidas como materiais de difícil usinagem. O titânio apresenta forte tendência a

reagir quimicamente com o material da ferramenta nas temperaturas de usinagem, causando uma espécie de soldagem ou adesão, e com isso aumentando o tempo de processamento da peça em usinagem (YANGM, 2012, INFOMET).

O *cluster* #3, que contém 14 referências, foi intitulado *Laser*, e aborda os processos que utilizam a tecnologia a laser na fabricação, em especial os processos de polimento e fusão. É notável que para os processos de polimento a laser, o controle da densidade de energia do laser é chave para melhorar a rugosidade da superfície trabalhada. Ou seja, quanto melhor a qualidade final desejada, mais consumo de energia o laser requer, logo a densidade do laser se torna variável relevante do processo (JANG, 2014).

O *cluster* #4, com 13 referências, foi denominado *Weld Mock-Up parts*, reúne publicações que tratam sobre a distribuição de tensão residual em diversos tipos de solda. Por não estar diretamente relacionado com o propósito do artigo, o *cluster* foi desconsiderado.

O *cluster* #5 intitulado *Highway*, possui 10 referências de publicações focadas em estudar o consumo de energia e emissão de CO₂ durante todo o ciclo de vida das rodovias. É levado em consideração a construção, manutenção, e os materiais escolhidos para a construção das vias.

3.2 Evolução dos Clusters na linha do tempo

Foi feita uma análise da evolução de cada *cluster* ao longo do tempo, para investigar se haveriam temas que cresceram ou decresceram nos últimos anos, o resultado é apresentado na figura 4.

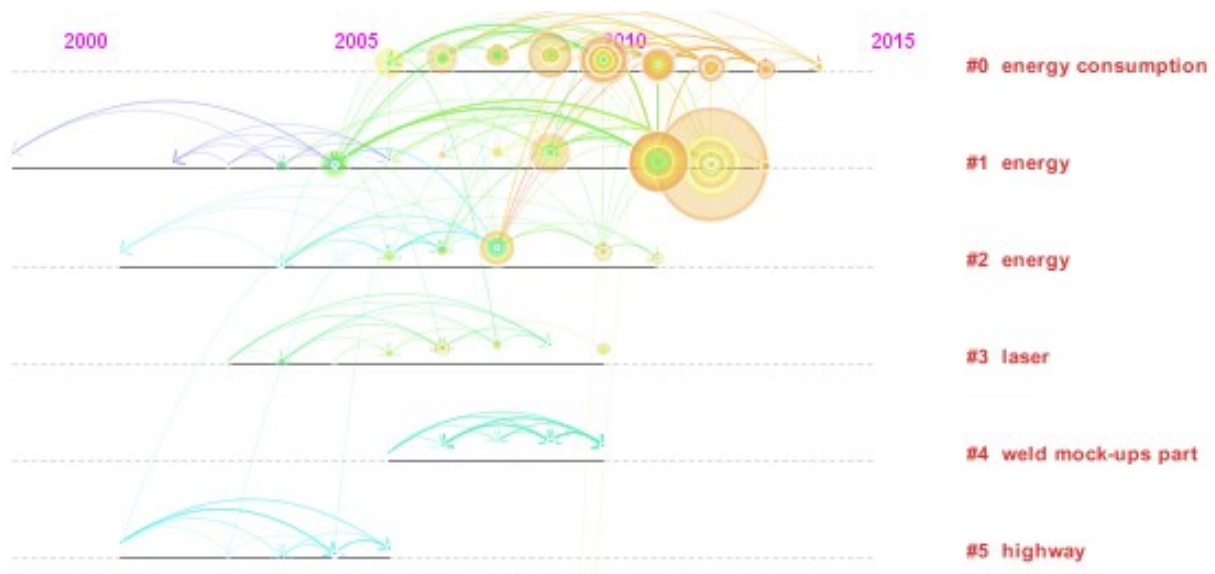


Figura 4 – Clusters na visão timeline

Observa-se que os *clusters* #3, #4 e #5 perderam força, uma vez que não apresentaram ocorrências de co-citação nos últimos 5 anos. Enquanto, as pesquisas nos *clusters* #0 e #1 vem ganhando importância, apresentando inclusive “explosões” de pesquisa, como pode ser observado no *cluster* #1 nos anos de 2011 e 2012. Estas “explosões”, representadas pelas circunferências, são chamadas pelo software de *Citation Burst*.

As *Citation Bursts* são publicações muito citadas, que despertaram o interesse da comunidade científica pela área de pesquisa representada pela publicação. Quanto maior a circunferência, mais citado foi o artigo. O diâmetro das circunferências também está associado ao indicador *Burst Strength*, que é atribuído para cada *Citation Burst*. Quanto maior o *Burst Strength*, mais

forte é a sua influência do artigo.

3.3 Análise das áreas mais ativas em pesquisa

Na base de dados foram localizadas 16 publicações como *Citation Bursts*, das quais 14 tiveram seus clusters identificados. A figura 5 mostra o autor, ano de sua publicação, o *cluster* que pertence, e o período pelo qual essa publicação exerceu influência.

Top 16 References with Strongest Citation Bursts

References	Year	Strength	Begin	End	2007 - 2016	cluster
HO KH, 2003, INT J MACH TOOL MANU, V43, P1287, DOI	2003	2.4692	2007	2011		6
BANHART J, 2001, PROG MATER SCI, V46, P559, DOI	2001	3.8016	2007	2009		
HAN FZ, 2004, PRECIS ENG, V28, P378, DOI	2004	2.4242	2007	2010		6
KRUTH JP, 2004, J MATER PROCESS TECH, V149, P616, DOI	2004	2.6793	2010	2012		3
DEVOLDERE T, 2007, P 14 CIRP C LCE, V, P311	2007	3.0041	2010	2011		0
ETZLER FM, 2003, CONTACT ANGLE WETTAB, V3, P219	2003	2.8236	2010	2011		
GUTOWSKI T, 2005, J CLEAN PROD, V13, P1, DOI	2005	3.9034	2011	2013		1
PARK CW, 2009, INT J PRECIS ENG MAN, V10, P151, DOI	2009	4.0211	2012	2014		14
SIMCHI A, 2006, MAT SCI ENG A-STRUCT, V428, P148, DOI	2006	2.4093	2012	2013		3
DUFLOU JR, 2012, CIRP ANN-MANUF TECHN, V61, P587, DOI	2012	9.0766	2013	2016		1
LI W, 2012, CIRP ANN-MANUF TECHN, V61, P59, DOI	2012	3.2233	2013	2014		1
DIETMAIR A, 2009, INT J SUSTAINABLE EN, V2, P123	2009	2.905	2014	2016		0
HU SH, 2012, J CLEAN PROD, V27, P133, DOI	2012	2.5221	2014	2016		0
HE Y, 2012, P I MECH ENG B-J ENG, V226, P255, DOI	2012	2.5299	2014	2016		0
DIAZ N, 2011, GLOCALIZED SOLUTIONS, V,, P	2011	3.7992	2014	2016		0
BALOGUN VA, 2013, J CLEAN PROD, V41, P179, DOI	2013	3.2266	2014	2016		0

Figura 5 – Informações sobre as publicações Citation Burst

Para entender as origens das tendências, foi estudado os artigos que tem influência identificada até o ano de 2016 pelo *CiteSpace*.

A referência com maior *strenght* (9,0766) é a do autor belga Joost Duflou (2012) que publicou em uma conferência em Hong Kong a pesquisa intitulada “*Towards energy and resource eficiente manufacturing: A processes and systems approach*”. Este trabalho abrange praticamente toda a cadeia de produção, desde o início do processo até a logística de distribuição. Suas conclusões estão organizadas por partes do sistema estudado: processo, máquina e layout. Para cada parte ele sugere medidas para alcançar os maiores níveis de eficiência energética.

O artigo de Nancy Diaz (2011), “*Energy Consumption Characterization and Reduction Strategies for Milling Machine Tool Use*” (*strenght*: 3,7992) propõe um método para prever a energia elétrica consumida na fabricação de um produto com o propósito de reduzir o impacto ambiental. Neste artigo, é proposta uma equação matemática que quantifica a energia gasta na taxa de remoção de material para processos de usinagem.

Balogun (2013), segue a mesma linha de pesquisa de Diaz. No artigo “*Modelling of direct energy requirements in mechanical machining processes*” (*strenght*: 3,2266) ele também

desenvolve um modelo de previsão de consumo de energia, dividido entre a energia para cumprir objetivo principal da máquina, como por exemplo o ato de cortar, e a “energia básica” que auxilia no desempenho da função principal, como por exemplo resfriar e iluminar.

O artigo “*A generic energy consumption model for decision making and energy efficiency optimisation in manufacturing*” (*strenght*: 2,905) escrito por Dietmair (2009) propõe métodos de previsão de consumo de energia não apenas para máquinas, mas para toda a planta industrial. Tal método pode ser aplicado no planejamento da produção utilizando modelos estatísticos de eventos discretos.

Yan He (2012), é o autor de “*Analysis and estimation of energy consumption for numerical control machining*” (*strenght*: 2,5299). Neste artigo é abordado a correlação entre códigos de controles numéricos e o consumo de energia de máquinas para usinagem, e propõem um método prático para fazer essas previsões.

A publicação de Hu (2012) (*strenght*: 2,5221) propõe que em máquinas utilizadas para usinagem, sensores de medição sejam substituídos por um modelo de medição. Este modelo pode ser dividido em duas partes: 1) o consumo constante da máquina que pode ser medido e armazenado em um banco de dados, e 2) o consumo variável pode ser estimado através da potência de entrada e do poder de corte da ferramenta.

3.4 Principais objetivos das publicações

Como as análises de linha do tempo e da *Citation Burst* mostram que os *clusters* #0 e #1 são os mais relevantes na atualidade, é preciso saber com precisão o conteúdo de cada publicação contida neles. O *cluster* #0 foi formado a partir das referências de 66 publicações, e o *cluster* #1 a partir de 59, sendo que 17 destes são comuns a ambos os grupos.

A última etapa desse trabalho foi ler os resumos das 108 publicações. Cada arquivo lido, independente se pertencia ao *cluster* #0 ou #1, foi rotulado com um objetivo principal e a tabela 4 apresenta os cinco objetivos.

Objetivos	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Soma
Monitoramento/Previsão de Consumo	1	5	5	5	4	3	23
Teste de parâmetros de processo			2	3	7	1	13
Planejamento da Produção		1	1	4	3	4	13
Escolha de Máquinas e Ferramenta		1	3	1	4	2	11
Escolha de Processos		1	1	1	2	2	7

Fonte: Os Autores (2016)

Tabela 4 – Principais objetivos das publicações dos clusters 0 e 1 por ano

Observa-se que o tema mais discutido entre os autores são os meios de monitorar e prever o consumo de energia. Esse grupo reúne publicações que apresentam equações matemáticas que modelam o consumo de energia, seja de uma linha de produção, ou de uma unidade de produto. Esse objetivo contempla quatro das seis *Citation Burst* estudadas.

Muitas publicações exploram os parâmetros do processo como por exemplo, velocidade da linha de produção e a temperatura do processo, muito popular no ano de 2014, que não apareceu com expressão no anos seguintes. E, igualmente, existem muitas publicações que estudam o planejamento da produção e como esse afeta o consumo de energia, porém esse tema diferente do anterior, demonstra um interesse estável da comunidade científica.

O processo que mais possui registros é o de usinagem, com atenção especial para a fresagem. O segundo processo de fabricação mais citado é o de manufatura aditiva, com destaque para a sinterização a laser.

4. Conclusões

Através das análises desenvolvidas a partir do banco de dados inicial do WOS, conclui-se que existe uma tendência atual focada em prever consumo de energia de máquinas ou plantas fabris, e essas predições tentam incluir diversas variáveis como a qualidade de acabamento do produto final, dimensões do produto, tempo de processamento, velocidade da produção, temperatura dos processos, etc.

Além disso a maioria dos trabalhos estão focados em processos utilizados principalmente pela indústria metal mecânica, como a usinagem. Os processos de outros ramos industriais ainda são pouco explorados, logo existem indústrias com potencial de estudo, como por exemplo, alimentos e celulose, consideradas indústrias de consumo intenso de energia.

As pesquisas que estão sendo feitas na área de energia revelam uma preocupação com a previsão do consumo, mas também com a diminuição dele. Com metodologia mais modernas, será possível prever e projetar processos e máquinas que consumam menos energia, gerando menores custos para a indústria, e elevando os níveis de eficiência energética.

Referências

- BALOGUN V.A.;** *Modelling of direct energy requirements in mechanical machining processes.* Journal of Cleaner Production Vol. 41, p. 179-186, 2013.
- CHEN C.;** *CiteSpace Manual.* <http://cluster.cis.drexel.edu/~cchen/citespace/> 2014.
- CHEN C.;** *Bibliometric CiteSpace II: Detecting and Visualizing Emerging Trends and Transient Patterns in Scientific Literature.* Journal of the American Society for Information Science and Technology Vol.3, p.359-377, 2006.
- DAI M., TANG D., GIRET A., SALIDO M. A.;** *Energy-efficient Scheduling for Flexible Flow Shop Using an Improved Genetic Simulated Annealing Algorithm.* Robotic and Computer-integrated Manufacturing Vol. 29, p.418-429, 2013.
- Disponível em: www.infomet.com.br
- DIAZ N., DORNFELD D.;** *Energy Consumption Characterization and Reduction Strategies for Milling Machine Tool Use.* Globalized Solutions for Sustainability in Manufacturing, p. 263-267, 2011
- DIETMAIR A., VERL A.;** *A generic energy consumption model for decision making and energy efficiency optimisation in manufacturing.* International Journal of Sustainable Engineering Vol. 2, p.123-133, 2009.
- DU H., WEI L., BROWN M.A., WANG Y., SHI Z.;** *A bibliometric analysis of recent energy efficiency literatures: an expanding and shifting focus.* Energy Efficiency, 2012.
- DUFLOU J.R.;** *Towards energy and resource eficiente manufacturing: A processes and systems approach.* CIRP Annals – Manufacturing Technology Vol. 61, p. 587-609, 2012.
- GAHM C., DENZ F., DIRR M., TUMA A.;** *Energy-efficient scheduling in manufacturing companies: A review and research framework.* European Journal of Operational Research, p.1-14, 2015.
- GUIRADO J.R.;** *Produção científica da área das ciências biológicas da Universidade Federal de Minas Gerais indexada nas bases de dados Web of Science e SCOPUS.* 2015.
- YANGM H., , LI H., ZHANG, Z., ZHAN, M. LIU, J., LI, G.;** *Advances and Trends on Tube Bending Forming Technologies.* Chinese Journal of Aeronautics, Vol. 25, p. 1-12, 2012.
- HE Y., LIU F., WU T.; ZHONG F-P.; PENG B.;** *Analysis and estimation of energy consumption for numerical control machining.* Journal of Engineering Manufacturing Vol. 226, p. 255-266, 2012.

HO Y.S; *Bibliometric Analysis of Adsorption Technology in Environmental Science*. Journal of Environmental Protection Science, p. 1-11, 2007.

HU S.H., LIU F., HE Y., HU T.; *An on-line approach for energy efficiency monitoring of machine tools*. Journal of Cleaner Production Vol. 27, p. 133-140, 2012.

JANG, P-R, JANG T-S; JI K-H, KIM N-C; *A method of laser micro-polishing for metallic surface using UV nano-second pulse and CW lasers*. Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2014.

MANI M., MADAN J., LEE J.H., LYONS K.W., GUPTA S.K.; *Sustainability characterisation for manufacturing processes*. International Journal of Production Research Vol. 52, p. 5895-5912, 2014.

Michaelis Dicionário Brasileiro da Língua Portuguesa. São Paulo: Editora Melhoramentos, 2016. Disponível em: <<http://michaelis.uol.com.br/>> Acesso em: 11/09/2016

NOVO M.G., GERACITANO L.A., HENNING P.; *Padrão de relacionamento entre nanociências, saúde e biologia: um levantamento histórico utilizando o programa CiteSpace*. História, Ciências, Saúde. Vol. 20, p. 1657-1670, 2013.

NIE, P.Y., YANG, Y. C.; *Effects of energy prices fluctuations on industries with energy inputs: An application to China*. Applied Energy Vol. 165, pag. 329-334, 2016.

TIJSSEN R.J.W.; *A quantitative assessment of interdisciplinary structures in science and technology: Co-classification analysis of energy research*. 1991.

U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION; *International Energy Outlook*, p. 113-125, 2016.