

Estudo sobre o desenvolvimento e tendências futuras da Manufatura Integrada por Computador (CIM) através de análise bibliográfica e bibliométrica

Study on the development and future trends of Computer Integrated Manufacturing (CIM) through bibliographical and bibliometric analysis

Fabio Junio dos Santos Coelho¹ - Univ. Est. do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - Centro de Ciência e Tecnologia - Laboratório de Engenharia de Produção
Rogério Atem de Carvalho² - Instituto Federal Fluminense - Polo de Inovação Campos dos Goytacazes

RESUMO O conceito de Manufatura Integrada por Computador (CIM) surgiu e começou a ser discutido no século passado, ainda na década de 1970. Este trabalho trás os conceitos iniciais da CIM mostrando quais eram as expectativas com sua implantação nas indústrias de manufatura. Através de uma pesquisa bibliográfica detalhada, baseada numa análise bibliométrica, buscou-se verificar quando foi o auge das pesquisas e publicações a respeito desse tema e como se deu sua evolução. Por fim, são apresentadas as tendências futuras para as tecnologias de chão de fábrica que permitem a integração das informações em todos os departamentos da empresa.

Palavras-chave: CIM. Integração. Chão de fábrica.

ABSTRACT *The concept of Computer Integrated Manufacturing (CIM) began to be discussed in the last century, specifically in the 1970s. This work examines the initial concepts of CIM, showing what the expectations with its implementation in manufacturing industries were. Through a comprehensive literature search, based on a bibliometric analysis, we sought to verify when the culmination of research and publications regarding this topic took place and how it evolved. Finally, we present the future trends for the manufacturing plant's floor technologies that allow for the integration of information across all departments.*

Keywords: *CIM. Integration. Manufacturing plant floor.*

1. Av. Alberto Lamego, 2000, Parque Califórnia, Campos dos Goytacazes-RJ, 28013-602, fabiojuniocoelho@gmail.com; 2. ratem@iff.edu.br

COELHO, F. J. S.; CARVALHO, R. A. Estudo sobre o desenvolvimento e tendências futuras da Manufatura Integrada por Computador (CIM) através de análise bibliográfica e bibliométrica. **GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, Bauru, Ano 12, nº 3, jul-set/2017, p. 107-130.

DOI: 10.15675/gepros.v12i3.1688

1. INTRODUÇÃO

Durante a década de 1990, a indústria de manufatura passou por grandes mudanças, como é possível observar no trabalho de Bolwijn e Kumpe (1990) que descreve as fases de evolução do mercado como sendo: eficiência (início dos anos 60), qualidade (final dos anos 60), flexibilidade (final dos anos 70) e inovação (a partir dos anos 90).

No início dos anos 60, o requisito fundamental de mercado era o preço. Então houve uma intensiva busca por aumento da produtividade e as empresas direcionavam seus esforços para o crescimento e gerenciamento da produção em massa. Um fato que contribuiu bastante para o aumento da produção foi a implantação da linha de produção proposta por Henry Ford, que consistia basicamente em uma esteira automatizada. A automação de máquinas e processos permitiu uma maior padronização dos processos, aumento de produtividade e consequente redução de custos do produto final.

A qualidade passou a ser requisito de mercado no final dos anos 60 e no final dos anos 70, os consumidores passaram a buscar também por variedades de produtos, caracterizando a fase da flexibilidade.

Esses requisitos foram acumulativos, significando que o cliente não substituiu o antigo pelo novo, sendo essas características somadas às anteriores. Para atender a essas demandas, não seria suficiente apenas a automação dos processos produtivos, mas era necessário promover uma integração entre chão de fábrica e demais departamentos da indústria através do aumento da tecnologia e digitalização dos processos.

Nesse contexto surgiu a Manufatura Integrada por Computador (CIM), que para Moura Júnior (1996) foi a nomenclatura utilizada para descrever a automação completa da indústria, onde todos os processos e atividades são controlados por computador ou sistema computadorizado e onde a informação que circula é, quando a integração é completa, exclusivamente na forma digital.

A tendência de mercado que passou a vigorar a partir dos anos 90 foi a da inovação e, com a evolução dos recursos de tecnologia da informação (TI), promoveu uma maior implantação dos sistemas CIM de forma a diminuir o tempo entre a concepção e lançamento dos produtos.

Neste artigo, buscou-se responder aos seguintes questionamentos: como era entendida a Manufatura Integrada por Computador em sua concepção? Como seu conceito foi evoluindo ao longo dos anos? Como está o estágio atual de implantação da CIM e quais são suas perspectivas futuras de desenvolvimento?

Para responder aos questionamentos acima, o trabalho apresenta uma revisão bibliográfica baseada em artigos publicados na base científica *Scopus* desde a década de 1980 até os dias atuais. Para realizar o levantamento bibliográfico de forma mais coerente e objetiva, realizou-se um estudo bibliométrico destacando nos resultados, a distribuição cronológica das publicações, os principais autores e principais periódicos no tema em estudo.

Inicialmente, apresenta-se o referencial teórico sobre a Manufatura Integrada por Computador citando algumas definições trazidas por autores de diferentes épocas. Na sequência são apresentados os procedimentos de coleta e análise de dados, onde descreve-se o procedimento metodológico utilizado, seguidos dos resultados da pesquisa bibliométrica. Na seção 5, é feita a discussão a respeito dos artigos encontrados, divididos entre os mais antigos (até a década de 1990), os artigos mais relevantes de acordo com os critérios da base de pesquisa (os quais se concentraram na década de 1990) e os artigos mais recentes (a partir de 2010). Ao longo dessa seção são feitas as considerações com base na revisão bibliográfica, com o objetivo de responder aos questionamentos a respeito do desenvolvimento da CIM ao longo dos anos. Finalmente, o artigo é concluído, destacando como os objetivos foram alcançados e as principais contribuições.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Todo estudo científico deve ser embasado numa revisão bibliográfica com o objetivo de trazer algumas definições e conceitos importantes a respeito do tema em estudo. Neste trabalho foi realizada uma pesquisa bibliográfica fundamentada numa análise bibliométrica. A seguir, são apresentadas algumas definições da Manufatura Integrada por Computador no início de sua concepção e algumas definições por autores mais atuais.

Para Chang (1988), CIM (Manufatura Integrada por Computador) é um conceito que evoluiu e vem evoluindo ao longo do tempo. Existe uma estreita relação entre CAD (*Computer Aided Design*), CAM (*Computer Aided Manu-*

facturing) e CIM. Muitos profissionais acreditam que o termo “CIM” pode ser usado como sinônimo de CAD / CAM. Na verdade, ele representa uma integração das funções de projeto e fabricação computadorizadas em uma sequência de atividades. A interface para conectar CAD e CAM é chamada CAPP (*Computer-aided process planning*). No entanto, uma visão mais ampla da CIM irá envolver toda a engenharia relevante e funções de negócios.

Segundo Kamrani e Parsaei (1993), a CIM é definida como a forma mais automatizada de produção e pode ser definida também como o uso da tecnologia de computador para integrar atividades de fabricação de determinado produto.

Puigjaner e Espunã (1994) definem Manufatura Integrada por Computador como uma rede unificada de *hardware* e *software* de sistemas computacionais que combina funções de processos e negócios (tais como análise econômica, programação, projeto, controle, operações etc.). Dessa maneira, a CIM fornece acesso geral a uma base de dados comum com gerenciamento de processos, controle funcional e geração de relatórios para gerentes, engenheiros e operadores para que as decisões ótimas possam ser tomadas e executadas de forma oportuna e eficiente.

Um conceito mais moderno é dado por Lin, Yuan e Lin (2013), onde os CIM's (*Computer Integrated Manufacturing systems*) são amplos sistemas com orientações operacionais para organização da produção de empresas. As grandes contribuições da CIM são a integração das informações e a otimização global das operações da organização.

Em um ambiente de manufatura moderno, a informatização das funções gerais, o intercâmbio de informações entre todos os departamentos e pessoas, a aplicação de tecnologias sem papel e a aplicação de métodos de engenharia simultânea são essenciais (MANKUTÊ, 2014).

As definições levam a perceber que houveram modificações conceituais ao longo dos anos. Na seção de discussão é feita a análise mais detalhada de alguns artigos selecionados a partir da análise bibliométrica, trazendo considerações a respeito da evolução conceitual e tecnológica, das expectativas de implementação, assim como das dificuldades iniciais causadas principalmente pela limitação tecnológica.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O escopo do trabalho foi um estudo bibliográfico baseado numa análise bibliométrica de publicações internacionais a respeito da Manufatura Integrada por Computador com o objetivo de descrever a evolução temporal e verificar quais são as expectativas e previsões de desenvolvimento futuro da CIM.

Realizou-se uma pesquisa em diversas bases digitais com o tema de busca “*Computer Integrated Manufacturing*”. Não foi limitada a janela de tempo com o objetivo de verificar as publicações mais antigas sobre o tema, as mais relevantes e, por último, as mais recentes, o que resultou num período entre 1970 e 2014. A área de busca foi limitada aos títulos dos artigos, para evitar que a busca retornasse artigos que não seriam de interesse.

Inicialmente, a busca foi realizada no Google acadêmico e na *Scielo*. Num segundo momento, optou-se pela base *Scopus* devido a sua representatividade e ao grande número de artigos indexados. A busca na base *Scopus* retornou 723 documentos, dos quais foram selecionados os 10 mais recentes, os 10 mais relevantes, de acordo com os critérios da base de dados, e os mais antigos disponíveis para download.

O objetivo da mesma é identificar e levantar as referências que serviriam posteriormente como núcleo de partida para a construção da revisão bibliográfica.

Foram utilizados alguns indicadores bibliométricos, como ano de publicação, autor, tipo de trabalho e idioma:

- **Ano de publicação:** inicialmente, não se limitou a busca por data para observar os arquivos mais relevantes, obtendo trabalhos recentes e antigos. O objetivo era verificar a evolução ao longo dos anos. Em um segundo momento, foi dada preferência por artigos publicados de 2010 a 2015 com o objetivo de verificar o estado da arte da CIM e suas tecnologias.
- **Idiomas:** buscou-se por publicações em inglês e português, dando preferência aos em inglês devido ao fator de impacto das revistas internacionais.
- **Autores:** inicialmente, a busca não foi limitada a autores e, em um segundo momento, foi dada preferência a autores mais citados.
- **Periódicos:** revistas e periódicos relacionados com o tema, como por exemplo, a *Robotcs and Computer-Integrated Manufacturing* e *Computers & Industrial Engineering*, ambas da editora Elsevier.
- **Tipos de Documentos:** foi dada preferência aos artigos científicos.

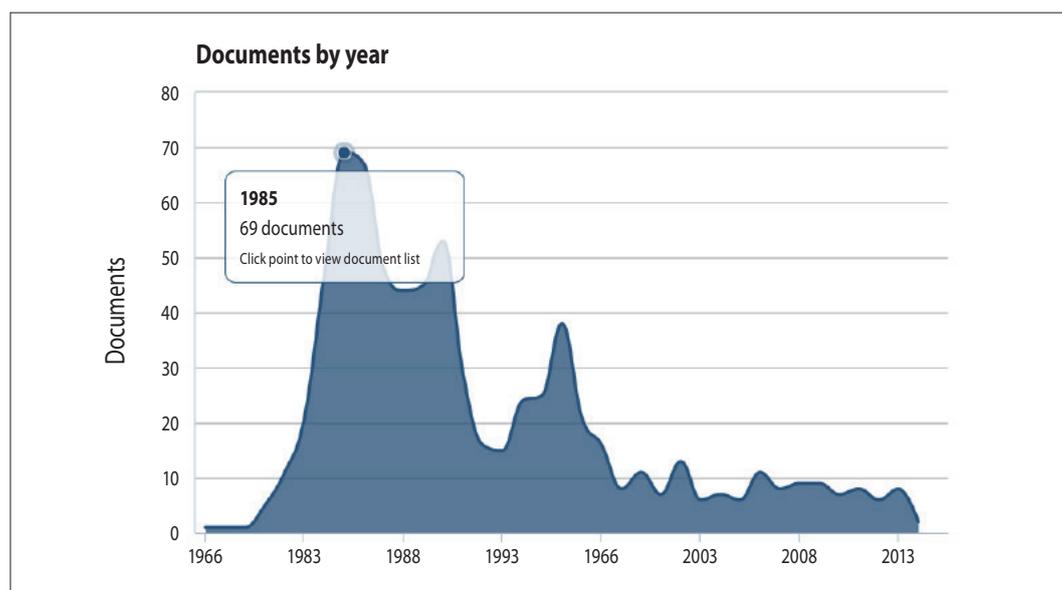
4. RESULTADOS

Essa seção apresenta os resultados quantitativos em relação à busca dos artigos na base *Scopus*. É possível verificar a evolução temporal das publicações, autores mais relevantes, periódicos com maior número de artigos relacionados e tipo de publicações. São apresentadas algumas tabelas referentes aos artigos selecionados entre os mais antigos, mais relevantes e mais novos.

4.1. Evolução temporal das publicações relacionadas a CIM

A busca retornou 723 documentos, onde a distribuição temporal pode ser vista na Figura 1.

Figura 1 – Distribuição temporal das publicações.



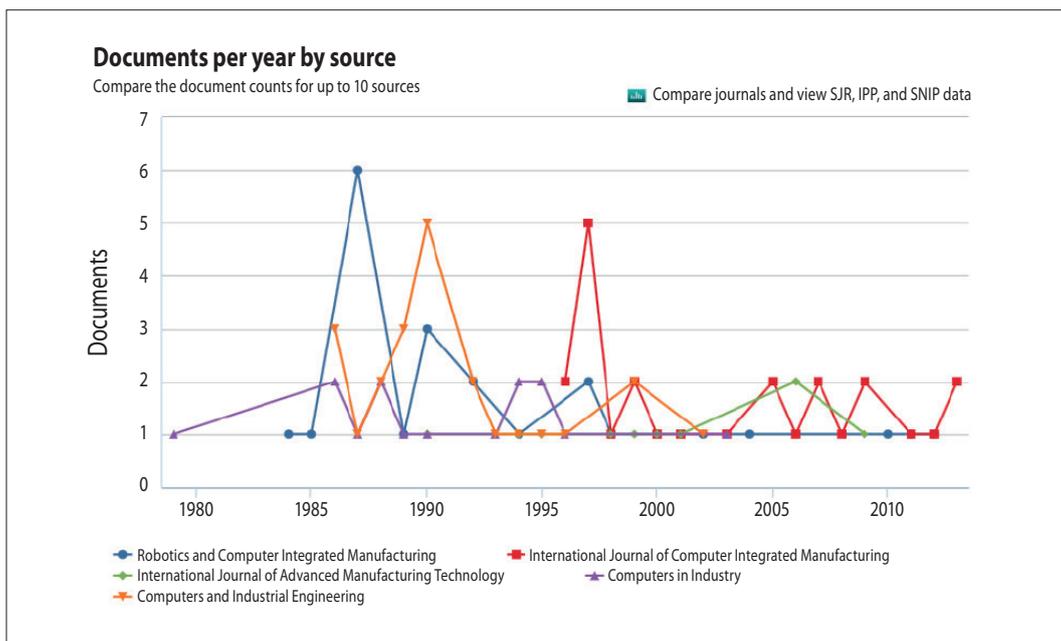
Fonte: *Scopus* (2014).

Através da observação do gráfico acima, é possível verificar que a CIM (Manufatura Integrada por Computador) teve uma maior discussão nas décadas de 80 e 90. Percebemos também que o número de publicações caiu ao longo dos anos e isso pode ser um indicativo de que a CIM se consolidou e está bem implantada.

4.2. Identificação dos artigos com maior número de periódicos

Foram identificados os periódicos que mais continham artigos relacionados ao tema em questão. A Figura 2 apresenta a distribuição de artigos por periódicos.

Figura 2 – Artigos por periódicos.



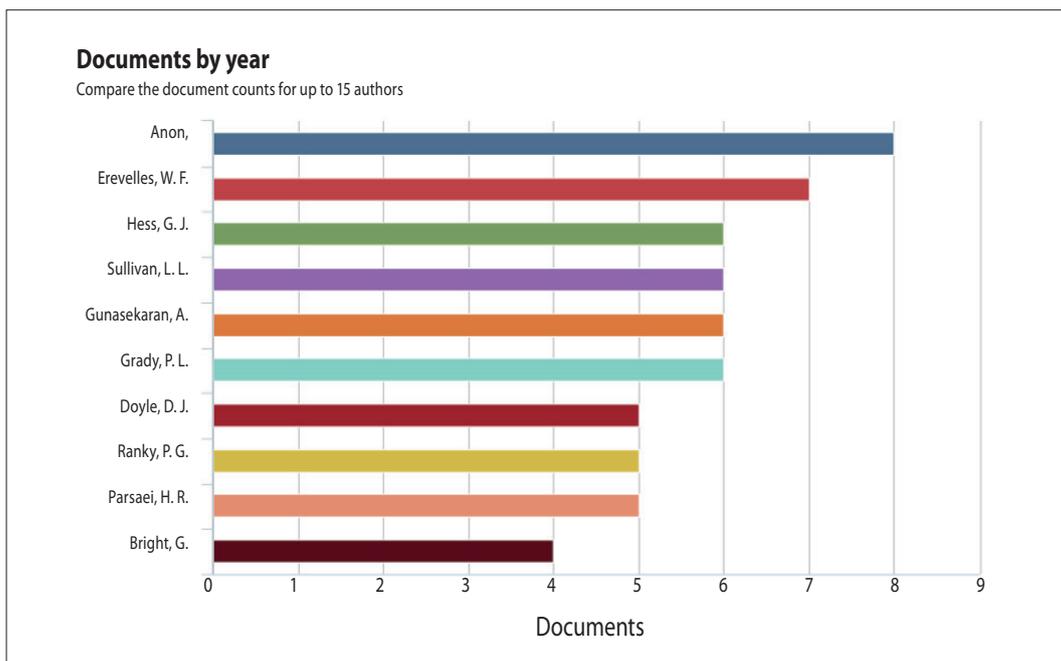
Fonte: Scopus (2014).

O periódico com maior número de publicações sobre a Manufatura Integrada por Computador foi o *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, com um auge de 6 publicações, seguido por *Computers and Industrial Engineering* e *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, ambos com 5 publicações. Seus fatores de impacto são, respectivamente, 2.305, 1.783 e 1.012.

4.3. Identificação dos principais autores

Os autores com o maior número de artigos no total encontrado na busca foram considerados os principais. O gráfico da Figura 3 mostra a distribuição das publicações por autores.

Figura 3 – Publicações por autor.



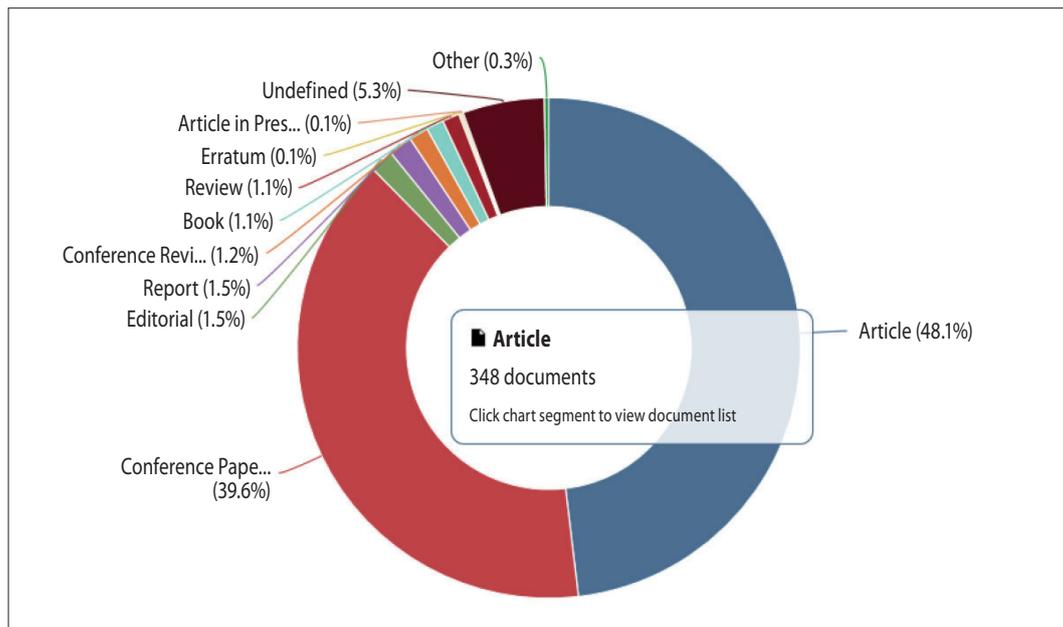
Fonte: *Scopus* (2014).

Os autores com maior número de artigos a respeito da “CIM” indexados na base foram o Añón e o Erevelles, com respectivamente 8 e 7 artigos. Como exemplo de artigos publicados pelo Añón, destaca-se “*Computer Integrated Manufacturing: The Focus Of Manufacturing Control, 1983*” e “*Computer Integrated Manufacturing: An Overview, 1986*”.

4.4. Tipos de documentos

O gráfico da Figura 4 mostra a proporção percentual dos tipos de publicações, onde é possível perceber que a maior parte (48,1 %) é de artigos científicos.

Figura 4 – Gráfico de divisão dos tipos de artigos.



Fonte: *Scopus* (2014).

4.5. Seleção dos artigos

Para a construção do núcleo de partida para o referencial teórico foram selecionados os artigos de acordo com os seguintes critérios: mais recentes, mais relevantes e mais antigos.

Os 10 artigos mais recentes, com o objetivo de verificar o que há de novo em relação ao assunto abordado, são mostrados no Quadro 1.

Quadro 1 – 10 artigos mais recentes da base *Scopus*.

TÍTULO	AUTOR	ANO
<i>Computer-integrated manufacturing for Chinese herbal medicine drinks products.</i>	Ho, Z.-P., Lee, I.-C., Chen, J.-J.	2013
<i>Overhead hoist transporter system utilization, simulation, and analysis for computer-integrated manufacturing in food process business.</i>	Liu, Y.-C., Yang, S.-M., Gao, H.-M., Chuang, C.-Y.	2014
<i>Augmented reality - An improvement for computer integrated manufacturing</i>	Bondrea, I., Petruse, R.E.	2013
<i>Robust localization of automated guided vehicles for computer-integrated manufacturing environments.</i>	Dixon, R.C., Bright, G., Harley, R.	2013
<i>Modeling and simulation for overhead hoist transporter system in computer integrated manufacturing, a case study on the food processing business.</i>	Liu, Y.-C., Yang, S.-M., Chuang, C.-Y.	2013
<i>Erratum to Development of a knowledge-based assisted product design system (International Journal of Computer Integrated Manufacturing</i>	Liang, J.S.	2013
<i>Research on computer integrated manufacturing system</i>	Lin, G., Yuan, F., Lin, H.	2013
<i>A decision support to assign mould due date at customer enquiry stage in computer-integrated manufacturing (CIM) environments</i>	Liu, J.J., Lin, Z.A., Chen, Q.X., Mao, N., Chen, X.D.	2013
<i>Integrated structure of manufacturing data for computer aided manufacturing engineering</i>	Mankute, R	2014
<i>Implementation of Computer Integrated Print Manufacturing (CIPM) in the Graphics Technology Curriculum (GTC).</i>	Poku, N., Dharavath, H.N., Joshi, N.N.	2013

Fonte: Próprio autor (2015).

O Quadro 1 lista os artigos mais novos indexados na base *Scopus*, com o termo de busca “*Computer Integrated Manufacturing*”. Os artigos destacados em negrito foram selecionados para a análise das perspectivas iniciais da CIM, com descrição detalhada na seção de discussões.

Os 10 mais artigos relevantes de acordo com critérios definidos pela base são apresentados no Quadro 2.

Quadro 2 – Artigos mais relevantes de acordo com a base *Scopus*.

TÍTULO	AUTOR	ANO
<i>Deskilling and reskilling within the labour process: The case of computer integrated manufacturing.</i>	Agnew, A., Forrester, P., Hassard, J., Procter, S.	1997
<i>Document-driven management of knowledge and technology transfer: Denmark's CIM/GEMS project in computer-integrated manufacturing.</i>	Liu, Y.-C., Yang, S.-M., Gao, H.-M., Chuang, C.-Y.	1991
<i>Computer-integrated manufacturing information system for VCR testing</i>	Ooi, T.H., Lau, K.T., Lim, C.H., Ong, V.F., Yeo, C.M.	1991
<i>An integrated decision analysis tool for the economic evaluation and justification of computer integrated manufacturing technologies.</i>	Lavelle, J.P., Sorenson, G.E., Aye, D.E.	1998
<i>Batch production control in a computer integrated manufacturing environment.</i>	Puigjaner, L., Huercio, A., Espuña, A.	1994
<i>The structure of quality information system in a computer integrated manufacturing environment.</i>	Chang, C.-h.	1988
<i>An investigation into the implementation of computer integrated manufacturing in small and medium enterprises.</i>	Marri, H.B., Gunasekaran, A., Grieve, R.J.	1998
<i>A group technology based methodology for machine cell formation in a computer integrated manufacturing environment.</i>	Kamrani, A.K., Parsaei, H.R.	1993
<i>Trends in computer-integrated manufacturing.</i>	Wiendahl, H.-P., Garlich, R.	1991
<i>Computer integrated manufacturing education and research.</i>	El Maraghy, H.A.	1987

Fonte: Próprio autor (2015).

É importante destacar que os artigos listados no Quadro 2 são classificados como mais relevantes por critérios da própria base, onde seleciona-se através de um filtro de ordenação por relevância. Logo, de acordo com a *Scopus*, o artigo mais relevante é o primeiro listado nessa tabela. O Quadro 3 apresenta os artigos mais antigos disponíveis na base *Scopus*.

Quadro 3 – Artigos dentre os mais antigos sobre CIM encontrados na base *Scopus*.

TÍTULO	AUTOR	ANO
<i>Part families selection for computer integrated manufacturing systems.</i>	Afentakis, P., Lombardi, F., Seshasayee, S.	1966
<i>Integrated computer aided design and manufacturing system.</i>	Aughton, P.	1978
Computer aids to the design of integrated manufacturing systems	Bernus, P., Hatvany, J.	1979
<i>Computer integrated manufacturing by stochastic approach.</i>	Wu, S.M., Rao, S.B.	1980
<i>Computer integrated manufacturing systems.</i>	Barash, M.M.	1980
Recent trends in metal forming: machine-tool production, process research and computer-integrated manufacturing	Venkatesh, V.C.	1982
Case studies of computer integrated manufacturing systems: A view of uncertainty and innovation processes	Gerwin, D., Tarondeau, J.C.	1982

Fonte: Próprio autor (2015).

Foram selecionados apenas cinco artigos para compor o conjunto dos mais antigos, já que o foco principal era no estágio atual de desenvolvimento das tecnologias de integração da manufatura. Os artigos destacados no Quadro 3 foram utilizados como base para identificar as tendências e expectativas iniciais da CIM.

5. DISCUSSÃO

Nessa seção é feita uma discussão a respeito dos artigos selecionados dentre os mais antigos, com o objetivo de verificar como a CIM era compreendida em sua concepção. Na sequência é realizada uma discussão dos artigos selecionados como mais relevantes, que se deu na década de 1990 com o auge das publicações sobre a Manufatura Integrada por Computador. Finalmente, através da análise dos artigos mais novos, verifica-se a o estado atual da CIM e suas perspectivas futuras.

5.1. Tendências e expectativas iniciais da CIM

Através da análise bibliográfica da Manufatura Integrada por Computador surgiram ainda na década de 60, como é possível observar no Quadro 4 e no gráfico da Figura 1. É importante destacar que nem todos os artigos listados na base estão disponíveis para download, com isso, nessa seção apresenta-se uma descrição de alguns dos artigos disponíveis, os quais estão destacados em negrito nos Quadros 1, 2 e 3. Esses artigos falavam da concepção da CIM na época, das dificuldades encontradas e das perspectivas de evolução.

Bernus e Hatvany (1979) propuseram a implementação de um sistema CAD/CAM para auxiliar à produção na indústria de máquinas ferramentas, que desempenhava um importante papel na indústria de exportação húngara. É possível identificar nesse trabalho que no princípio a definição de CIM estava voltada para a integração dos sistemas CAD/CAM, onde o foco era a integração da parte de projeto do produto com sua fabricação em máquinas com controle numérico computadorizado (CNC).

Um estudo de caso realizado por Gerwin e Tarondeau (1982) fez a comparação entre a implantação de Sistemas de Manufatura Integrada por Computador em quatro diferentes empresas, uma em cada país, sendo estes, Estados Unidos, Inglaterra, Alemanha e França, onde realizaram entrevistas com os gestores com o objetivo de responder a três questionamentos principais:

- Quais foram as razões para adoção da CIM?
- Quais estratégias foram utilizadas para facilitar a introdução da CIM na empresa?
- Quais foram os problemas mais significantes encontrados nesse processo?

De acordo com Gerwin e Tarondeau (1982), verifica-se entre as principais razões para implantação da CIM, levando em conta os quatro países analisados, nova linha de produtos, modernização das instalações de produção, necessidade de maior capacidade produtiva, aumento de produtividade, centralização do controle da produção, novos produtos e diminuição do tempo de entrega dos produtos.

As estratégias utilizadas na implementação foram baseadas no fato de que as empresas possuíam poucas máquinas CNC e infraestrutura ruim. Então realizou-se a instalação das máquinas CNC e treinamento dos trabalhadores. Alguns dos problemas de implementação encontrados foram:

- **Controle de qualidade:** dificuldade de descobrir e corrigir defeitos, necessidade de detecção de defeitos e diagnóstico precoce;
- **Contabilidade:** dificuldade em computar custos padrões e conversão da hora de trabalho para horas de máquinas;
- **Manutenção:** disponibilidade de manutenção em turnos extras, devido a instalação das novas máquinas.

Analisando as estratégias e os problemas de implementação descritos por Gerwin e Tarondeau (1982), verifica-se que a concepção de Manufatura Integrada por Computador, nos anos 80 estava totalmente voltada para a automatização das máquinas de forma isolada, realizando a instalação dos equipamentos CNC's e capacitando os trabalhadores para manuseá-las. A ideia de integração total da produção ainda não ganhava espaço, devido às limitações tecnológicas.

Venkatesh (1982), em seu trabalho, verificou as tendências para a indústria metalúrgica, onde existia uma estreita relação com a evolução da Manufatura Integrada por Computador. O autor citou algumas previsões para o desenvolvimento da CIM nos próximos anos, que se resumem em quatro grupos: projeto do produto, planejamento da produção, controle da produção e produção dos equipamentos.

Em 1980, ele estimou que um grande avanço no desenvolvimento de *softwares* teria ocorrido. Um sistema de *software* para automação completa e otimização de todas as etapas de fabricação (seleção de usinagem, seleção de máquinas-ferramentas, aperto, seleção de sequência de operações, seleção de ferramentas, seleção de condições ótimas de corte, controle numérico de usinagem) teria sido desenvolvido e estaria disponível em larga escala. A utilização de computadores iria otimizar a vida útil das ferramentas, a produtividade e a qualidade.

Em 1985, um controle adaptativo totalmente otimizado poderia ser implementado e largamente utilizado, onde seria feito o processo de identificação *on-line* e o sistema seria capaz de uma rápida adaptação mediante mudanças nos requisitos de saída do processo. Estimou ainda que o carregamento e a programação das máquinas seriam feitos por computadores e, como consequência, existiria a completa automatização da fábrica através de um computador central. Em 1990, os sistemas seriam capazes de aceitar componentes de diversos fabricantes através da padronização. Venkatesh (1982) conclui seu trabalho dizendo que nem todas essas previsões foram atingidas, mas existiam grandes avanços na área da automação da manufatura.

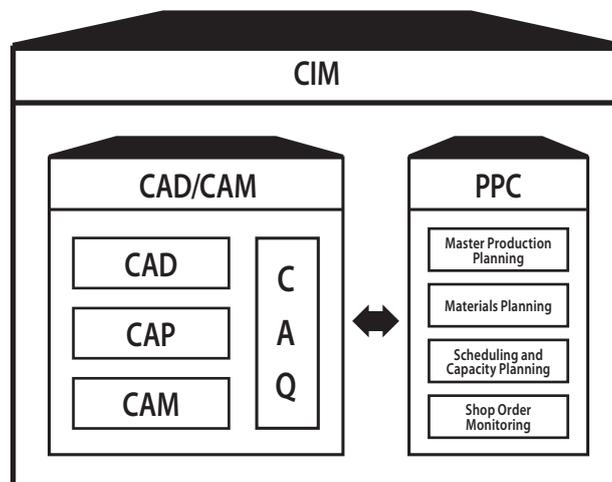
Com a análise desses três artigos antigos, foi possível identificar que a CIM, desde o início da sua concepção, vem evoluindo de acordo com o desenvolvimento tecnológico. Até a década de 1990, as limitações tecnológicas restringiam sua concepção e implantação basicamente à utilização de máquinas ferramentas que possuíam assistência computadorizada, assim como a parte de desenvolvimento assistido por computador (sistemas CAD). A sua integração ficou conhecida como sistema CAD/CAM.

5.2. Perspectivas para a CIM na década de 1990

Na década de 1990, houve uma concentração de trabalhos importantes a respeito da CIM, como é possível verificar na Figura 1, onde o maior volume de trabalhos está entre os anos de 1885 e 1998. É importante destacar novamente que nem todos os trabalhos listados como mais relevantes no Quadro 2 estavam disponíveis para download.

Wiendahl e Garlich (1991) destacaram o estágio do desenvolvimento da integração das indústrias no início da década de 90. A melhora da produtividade com um maior nível de automação e aumento da flexibilidade se deu através da utilização de sistemas de produção controlados por computador. Isso só foi possível devido à introdução de novas tecnologias e estratégias organizacionais. A importância dos aspectos de integração aumentou consideravelmente. Novas tecnologias de produção assistidas por computador permitem a integração vertical e horizontal dos materiais e do fluxo de informações. A Figura 5 mostra a estrutura da CIM.

Figura 5 – Estrutura CIM.



Fonte: Wiendahl, H.-P., Garlichs, R. (1991).

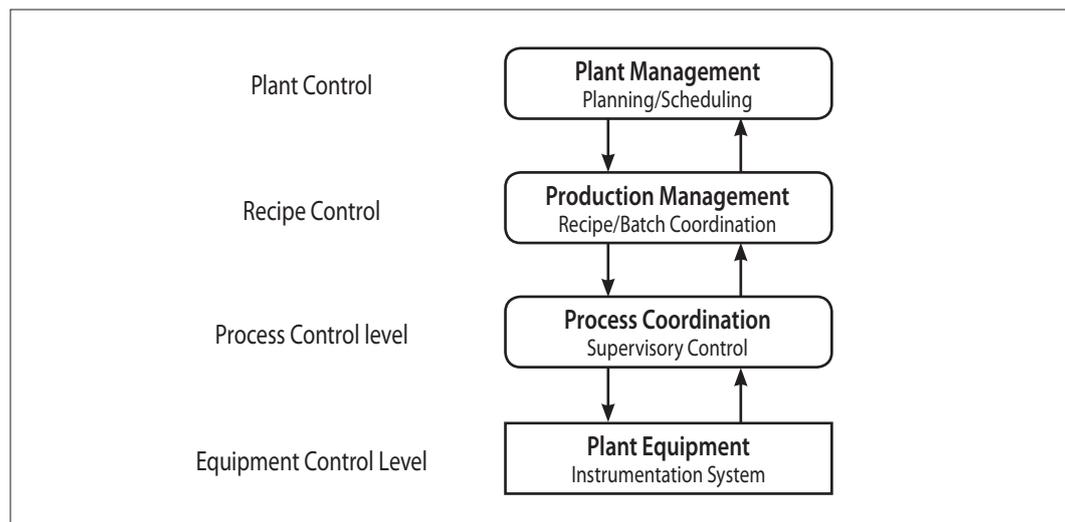
A Figura 5 ilustra a CIM como a integração dos sistemas CAD/CAM com o PPC (Planejamento e Controle da Produção). A CIM utiliza de recursos computacionais, principalmente métodos de processamento de dados, técnicas de rede de computadores, sistemas de apoio à decisão e técnicas de gerenciamento de banco de dados para promover a integração e automatização dos sistemas da manufatura. Um sistema eficiente e bem projetado combina flexibilidade de produção com gestão de produção eficiente para aumentar a produtividade global do sistema de produção.

Verifica-se que já é possível uma maior integração da produção, além da integração dos sistemas CAD/CAM, com a utilização de redes de computadores e bancos de dados, foi possível integrar e disponibilizar esses dados digitalmente para a parte de gestão da produção. Isso permitiu uma melhor integração do chão de fábrica com a parte gerencial da indústria, fornecendo os dados necessários ao Planejamento e Controle da Produção.

Segundo Kamrani e Parsaei (1993), o termo “integração” significa que a informação exigida por cada atividade está disponível com precisão e no formato (padrão) requerido. Computadores são as ferramentas de escolha para automatizar atividades. Com as suas capacidades de aquisição de dados, armazenamento enormes, eles também são as ferramentas de escolha para automatizar a integração. A Manufatura Integrada por Computador muitas vezes requer um grande investimento inicial. No entanto, uma vez implementado, o sistema pode proporcionar redução de custos por meio da melhoria da utilização da máquina, melhoria da qualidade do produto devido a uma melhor concepção de projeto, melhor gestão e controle de estoques, método de inspeção mais confiável, menor tempo de fabricação e sistemas de apoio à melhoria da gestão.

A CIM deve contribuir para o correto fluxo de informações dentro de uma empresa, onde os níveis hierárquicos do processo são apresentados na Figura 6.

Figura 6 – Estrutura hierárquica.



Fonte: Puigjaner, L., Huercio, A., Espuña, A. (1994).

Os dois primeiros níveis são essencialmente voltados à organização enquanto os dois últimos são principalmente orientados ao processo. Todos esses níveis devem operar em um tempo real para transmissão dos dados. O nível mais baixo é o chão de fábrica, onde se encontram as máquinas, sensores e outros equipamentos necessários à automação do processo.

Fernandes (1991) destacou a importância da função de controle de processos para os sistemas integrados de manufatura. Com o grande desenvolvimento percebido nos sistemas tecnologia de informação, o computador se tornou elemento chave da integração das funções desempenhadas em um sistema fabril. Como exemplo, cita a integração da parte do projeto do produto com o planejamento do processo, do planejamento com o gerenciamento da produção e este com a fabricação.

A automação, junto com as tecnologias de informação, formam as bases para as tecnologias assistidas por computador. Logo, os recursos de TI são as bases para o controle e sem a função de controle não há integração. Flavio Cesar F. (1991) identificou os principais componentes de um sistema CIM, que além de CAD, CAM, CNC envolve:

- CAPP (*computer-aided process planning*) é o planejamento do processo auxiliado por computador;
- CPC (*computer process control*) é o controle do processo por computador;
- Armazenagem automatizada (*automated warehouse*);
- Movimentação de materiais automatizada, através de AGV's (*auto guided vehicles*) que são veículos controlados por computador;
- Robôs industriais que são manipuladores programáveis e controlados por computador;
- CAQC, controle de qualidade auxiliado por computador.

Esses sistemas trazem um benefício enorme para a flexibilidade, pois reduzem o tempo de preparação, aumentam a variedade de peças, melhoram o planejamento de manutenção, etc.

Percebe-se que os componentes do sistema CIM já vão muito além do simples uso das máquinas CNC's e de sistemas CAD. A integração passa a envolver todos os níveis gerenciais da empresa. Foi também na década de 1990 que a nomenclatura ERP – *Enterprise Resource Planning* ganhou força. Esses sistemas também foram chamados de sistemas integrados de gestão, os quais englobaram em um único *software* vários módulos que atendem às atividades e aos processos de vários departamentos da empresa, incluindo a parte de controle de estoques, serviços contábeis, setor de compras, gestão de pessoas e controle do processo produtivo. Todas essas atividades passaram a ser gerenciadas em um único sistema, o que facilitou muito a integração completa da organização.

A próxima seção traz detalhes sobre alguns trabalhos mais recentes sobre a Manufatura Integrada por Computador.

5.3. Visão atual e tendências futuras das tecnologias de integração da manufatura por computador

Nessa seção é realizada a análise de alguns dos artigos destacados no Quadro 1, que lista os trabalhos mais recentes encontrados na base *Scopus*. Os artigos selecionados contribuem para o entendimento do estado atual da CIM e de suas perspectivas futuras.

Segundo Lin, Yuan e Lin (2013), a CIM gera uma grande mudança com a integração das informações nos processos de operação nas indústrias de manufatura, através da integração das informações e da otimização global das operações da organização. O sistema CIM é bastante complexo e possui três partes principais: as pessoas e organizações, operação e tecnologia. Esse sistema pode ser subdividido em quatro subsistemas funcionais e dois subsistemas de apoio, onde os subsistemas funcionais são:

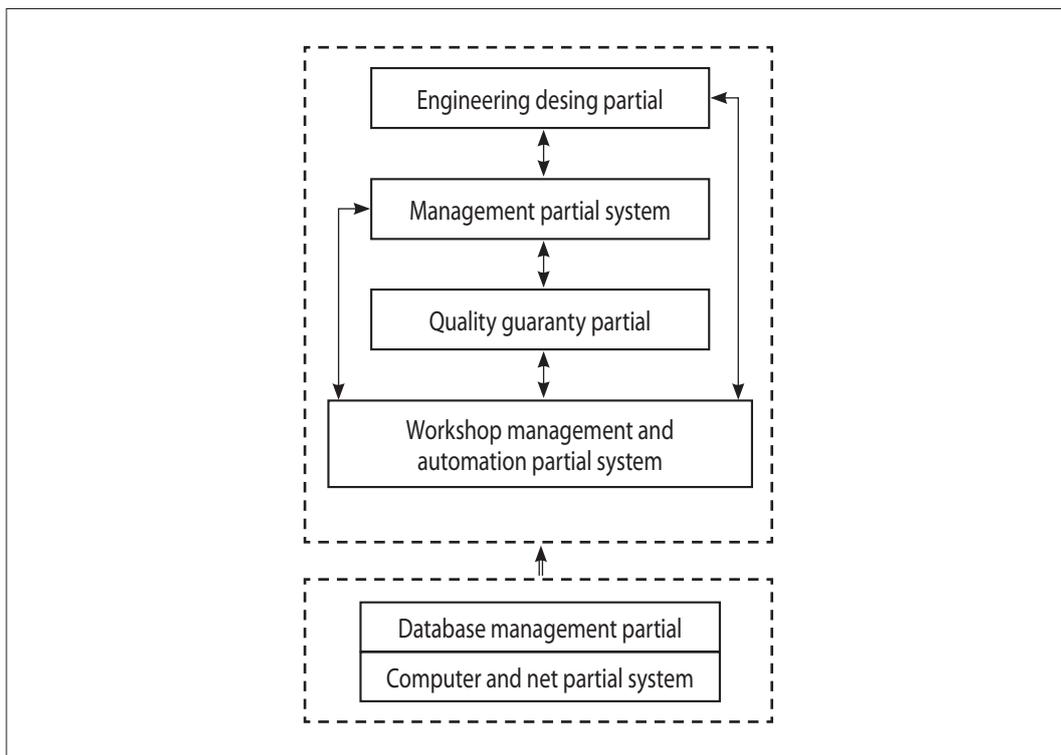
- 1) Projeto de engenharia e sistemas de automação (EDAS);
- 2) Subsistema de gestão de informações (MIS);
- 3) Subsistema de automação da manufatura (MAS);
- 4) Subsistema de garantia da qualidade (QAS).

Os sistemas de suporte são:

- 1) Banco de dados (BD);
- 2) Rede de computadores (NET).

A Figura 7 sintetiza essas informações.

Figura 7 – Constituintes da CIM.



Fonte: Lin, G., Yuan, F., Lin, H. (2013).

A tecnologia da informação é muito importante no aspecto dos sistemas CIM, pois dão todo o suporte necessário, sendo o banco de dados e a parte de redes elementos fundamentais para o funcionamento e integração dos sistemas.

De acordo com Lin, G., Yuan, F., Lin, H. (2013), as tendências de desenvolvimento da CIM são: integração digital, inteligência artificial com a inserção de redes neurais e algoritmos genéticos.

Para Mankute (2014) toda a parte do projeto, do planejamento e controle da produção devem ser integrados e utilizar de ferramentas, como abordagens baseadas em algoritmos genéticos, modelos CIM, soluções *Web* e outras metodologias para atingir seus objetivos.

Costa e Stefano (2014) destacam que o mundo está diante de uma segunda revolução industrial, que será regida pela digitalização e pela automação. Essa revolução é impulsionada por três forças: o avanço exponencial da capacidade de processamento e armazenamento dos computadores, a grande quantidade de informação digitalizada e novas estratégias de informação. Juntas elas ampliam as possibilidades de novas tecnologias voltadas para indústria.

Existem *softwares* que integram as linhas de produção e que estão criando as fábricas inteligentes, com a utilização de sensores e equipamentos que permitem a troca de informações entre produto e maquinário durante o processo de manufatura. Com o avanço da inteligência artificial, robôs conseguem tomar decisões trabalhando dentro de ambientes caóticos.

O aumento de produtividade, a redução de custos e redução de defeitos são fatores positivos atrelados a este processo de informatização e automação. Porém, os empregos que envolvem funções repetitivas tendem a desaparecer nos próximos anos, dando lugar a outras funções que requerem maior nível de qualificação. A estimativa é que 60 milhões de empregos industriais sejam substituídos por máquinas (COSTA; STEFANO, 2014).

Outra realidade já existente é o controle à distância de processos. O avanço da computação está permitindo criar fábricas virtuais onde os trabalhadores podem fazer treinamentos, evitando que possíveis erros afetem o sistema produtivo ou até mesmo causem acidentes. Com essa digitalização é possível acionar máquinas, mudar ritmo de produção e administrar estoques, tudo remotamente.

Dixon et al. (2013) destacam a utilização dos veículos teleguiados (AVG's) na movimentação de cargas num ambiente de manufatura integrada por computador, desenvolvendo técnicas de navegação e controle desses veículos, com o objetivo de melhorar sua flexibilidade e robustez nesses ambientes.

O estágio atual de integração nas indústrias é bem alto, onde as tecnologias de informação possibilitam o controle total das etapas produtivas num único *software*, possibilitando que os diversos departamentos tenham a possibilidade de acessar os dados em tempo real.

Para tal integração, existem as redes de chão de fábrica, que fazem a comunicação entre os equipamentos de controle e supervisão, sensores e atuadores, diretamente ligados aos processos produtivos. Esses equipamentos se comunicam graças a utilização de protocolos que permitem essa integração. Uma rede de computadores permite a integração com os níveis hierárquicos superiores, onde a gerência tem acesso aos dados coletados no campo, o que facilita a tomada de decisões operacionais e estratégicas.

Entre as tendências de desenvolvimento da CIM estão: a integração digital, inteligência artificial com a inserção de redes neurais e algoritmos genéticos.

No meio industrial já ocorre também, uma mudança no sentido da utilização de sensores e atuadores que se comunicam com tecnologias sem fio – *wireless*. Essa tecnologia ainda não é totalmente aceita no meio industrial devido a questões de confiabilidade.

6. CONCLUSÃO

Nesse artigo, buscou-se fazer uma análise do desenvolvimento das tecnologias e conceitos aplicados na Manufatura Integrada por Computador. Através de uma busca bibliográfica detalhada, foi possível identificar a evolução conceitual e tecnológica ao longo de mais de 30 anos.

O conceito da CIM inicialmente estava ligado apenas à conexão dos sistemas CAD/CAM, voltados a propiciar a integração das chamadas ilhas de automação formadas pelos conjuntos de máquinas CNC's.

Com o avanço das tecnologias da informação e dos computadores, foi possível fazer a integração com o Planejamento e Controle da Produção. Nos anos 90, a ideia de CIM estava fortemente ligada à área de automação e controle. Hoje, o conceito está relacionado à integração de todos os departamentos, inclusive a cadeia logística da empresa. O sistema CIM possui três partes principais: as pessoas e organizações, operação e tecnologia. Os trabalhos atuais destacam a importância da tecnologia da informação (TI) para a integração dos processos de manufatura. A TI é fundamental para o controle e informatização dos processos, o qual permite a integração com os demais departamentos da organização.

O estudo bibliométrico serviu como base e ponto de partida para o estudo bibliográfico, onde foram verificados os periódicos e autores com maior número de publicação sobre a CIM e, principalmente, a evolução temporal das publicações, observada na Figura 1. Os artigos classificados como mais relevantes pela base de pesquisa coincidem com o período em que se observa a maior concentração de publicações, sendo do final dos anos 80 até final dos anos 90. A partir dos anos 2000, verificou-se uma diminuição da discussão a respeito da CIM e através da análise desses artigos percebe-se que a integração completa da manufatura foi atingida com o auxílio da TI.

Muitas previsões foram feitas em torno do desenvolvimento tecnológico, onde se acreditava na possibilidade da retirada completa da presença do homem do ambiente fabril. O que se observou foi uma evolução considerável na automatização e na integração ao longo dos anos, mas nem todas as previsões se concretizaram. O homem é elemento fundamental das organizações, onde o capital intelectual é cada vez mais valorizado. Apesar do alto nível de automação nas indústrias, o poder decisório ainda pertence às pessoas, que devem ser capazes de adaptar-se às novas tecnologias.

Os objetivos do trabalho foram alcançados, uma vez que os conceitos foram resgatados de trabalhos anteriores, respondendo aos questionamentos apresentados na introdução. O artigo trouxe uma contribuição importante, trazendo à tona uma discussão relevante para a gestão das operações. Além disso, o modelo bibliométrico descrito na metodologia pode ser utilizado para fundamentar pesquisas de diversas áreas.

REFERÊNCIAS

BERNUS, P.; HATVANY, J. Computer aids to the design of integrated manufacturing systems. **Computers in Industry**, v. 1, n. 1, p. 11–19, 1979.

BOLWIJN, P. T.; KUMPE, T. Manufacturing in the 1990s - Productivity, flexibility and innovation. **Long Range Planning**, v. 23, n. 4, p. 44–57, 1990.

CHANG, C. -H. The structure of quality information system in a computer integrated manufacturing environment. **Computers and Industrial Engineering**, v. 15, n. 1-4, p. 338–343, 1988.

COSTA, M.; STEFANO, F. A fábrica do futuro. **Tecnologia**, 2014.

DIXON, R.C.; BRIGHT, G.; HARLEY, R. Robust localisation of automated guided vehicles for computer-integrated manufacturing environments. **S. Afr. J. Ind. Eng.**, Pretoria, v. 24, n. 1, p. 81-90, Jan. 2013. Disponível em: <http://www.scielo.org.za/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-78902013000100008&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 07 de Agosto 2015.

FERNANDES, F. C. F. A função de controle nos sistemas integrados de manufatura. **Prod. [online]**, v. 1, n. 1, p. 7-21, 1991.

GERWIN, D.; TARONDEAU, J. C. Case studies of computer integrated manufacturing systems: A view of uncertainty and innovation processes. **Journal of Operations Management**, v. 2, n. 2, p. 87-99, 1982.

KAMRANI, A. K.; PARSAEI, H. R. A group technology based methodology for machine cell formation in a computer integrated manufacturing environment. **Computers and Industrial Engineering**, v. 24, n. 3, p. 431-447, 1993.

LIN, G.; YUAN, F.; LIN, H. **Research on Computer Integrated Manufacturing System**. IEEE, Junho de 2013. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6598168>>. Acesso em 7 de Agosto de 2015.

MANKUTÊ, R. Integrated structure of manufacturing data for computer aided manufacturing engineering. **Mechanics**, v. 20, n. 2, 22 abr. 2014.

MOURA JÚNIOR, A. N. C. **Novas tecnologias e sistemas de administração da produção - análise do grau de integração e informatização nas empresas catarinenses**. 102f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia da Informação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Florianópolis, 1996.

PUIGJANER, L.; HUERCIO, A.; ESPUÑA, A. Batch production control in a computer integrated manufacturing environment. **Journal of Process Control**, v. 4, n. 4, p. 281-290, 1994.

VENKATESH, V. C. Recent trends in metal forming: machine-tool production, process research and computer-integrated manufacturing. **Journal of Mechanical Working Technology**, v. 7, n. 1, p. 1-9, 1982.

WIENDAHL, H.-P.; GARLICH, R. Trends in computer-integrated manufacturing. **Future Generation Computer Systems**, v. 7, n. 1, p. 97-107, 1991.