

Problema de Dimensionamento e Sequenciamento de Lotes Multinível: Uma Contribuição Bibliométrica

Talita Mariana Pinho Schimidt (Universidade Federal do Paraná) talitapschmidt@gmail.com

Nathália Cristina Ortiz da Silva (Universidade Federal do Paraná) ncosilva2@gmail.com

Cassius Tadeu Scarpin (Universidade Federal do Paraná) cassiusts@gmail.com

Resumo:

Certos ambientes produtivos possuem múltiplos níveis de produção em seu processo. Esta configuração requer sincronia entre estes níveis, o que exige a realização de forma simultânea do dimensionamento e sequenciamento de lotes. O objetivo desta pesquisa é analisar de forma quantitativa a produção científica sobre o Problema de Dimensionamento e Sequenciamento de Lotes Multinível. A abordagem metodológica utilizada é de revisão sistemática da literatura, tendo como base a teoria bibliométrica e análise de redes. Utiliza-se como base de dados a plataforma *ISI Web of Science*, para o tratamento dos dados utiliza-se os softwares Bibexcel® e Pajek®. Para obtenção da amostra as expressões-chave utilizadas foram “multi-level” AND “lot sizing” AND “scheduling”, gerando uma amostra final de 46 publicações. São apresentados neste artigo, resultados sobre os mais importantes autores, trabalhos, países de origem e periódicos de publicações. Este estudo contribui para consolidação do conhecimento e desenvolvimento de novas pesquisas acerca do problema em estudo.

Palavras chave: Multinível, Dimensionamento de Lotes, Sequenciamento, Análise Bibliométrica, Análise em Redes.

Lot sizing Scheduling Multilevel Problem: A Bibliometric Contribution

Abstract

Some production systems characterized by have more than one productive level. This configuration requires synchronization between the levels, which requires that Lot sizing and Scheduling be executed simultaneously. This research objective is therefore to analyze quantitatively the scientific production about the Multi-level Lot sizing and Scheduling Problem. The methodological approach used in this study is a systematic literature review, based on bibliometric theory and network analysis. It was used data from the database *ISI Web of Science* and its treatment by Bibexcel® and Pajek software. For the research in WoS we used the following key terms: “multi-level” and “lot sizing” and “scheduling”, it was generated a sample of 46 articles published. At the end of the study were presented results about the most important authors, articles, countries and journals. This study contributes too to consolidate the available knowledge and the development of new research and concepts on the subject.

Key-words: Multi-level, Lot sizing, Scheduling, Bibliometric, Networks.

1. Introdução

O planejamento da produção é uma atividade que considera a melhor forma de se utilizar os recursos produtivos, com o objetivo de satisfazer suas metas em um certo período, chamado horizonte de planejamento. O dimensionamento de lotes é um dos mais importantes e difíceis problemas no planejamento da produção (KARIMI; FATEMI GHOMI; WILSON, 2003). De acordo com Brahimi *et al.* (2006), modelos matemáticos que envolvem dimensionamento de lotes (*Lot Sizing*) tem por objetivo determinar o tamanho dos lotes a serem produzidos em um

determinado horizonte de planejamento. Buscam desta forma, minimizar custos de produção e estoque, atender às demandas e respeitar as limitações de capacidade.

Para Pinedo (2005), a programação da produção pode ser definida como a decisão de quando e como cada tarefa deve ser realizada, para que certos objetivos sejam cumpridos, podendo estes ser: redução de estoques, entregas realizadas no tempo correto, realização da produção no menor tempo possível ou então, minimização de ociosidade dos recursos na execução das tarefas de produção. O sequenciamento é um problema de programação da produção, em que uma ordenação dos postos de trabalho determina completamente uma sequência. O problema mais simples de sequenciamento é aquele que possui um único recurso e todos os tempos de processamento são determinísticos (BAKER; TRIETSCH, 2009).

O presente trabalho trata especificamente de ambientes de produção que possuem mais de um nível (ou estágio) produtivo. Tratam-se de cenários produtivos encontrados na prática industrial atual. Esta configuração requer sincronia entre os estágios, o que exige a realização de forma simultânea do dimensionamento e sequenciamento de lotes.

Modelos matemáticos para Dimensionamento e Sequenciamento de Lotes Multinível (*Multi-level lot sizing and scheduling*) têm sido bastante explorados pela comunidade acadêmica recentemente, visto que, tratam-se de modelos muito próximos da realidade produtiva. Sendo assim, importantes aplicações industriais têm sido publicadas, o que evidencia a importância e relevância do estudo. Por exemplo, (FERREIRA; ALMADA-LOBO; MORABITO, 2013) apresenta abordagens matemáticas para a produção de bebidas que ocorre em mais de um nível. Além disso, aplica-se também a indústrias alimentícias e eletrônicas, como pode ser observado em (BOONMEE; SETHANAN, 2016) e (ULBRICHT, 2015a).

Diante deste contexto, o objetivo desta pesquisa é analisar a produção científica sobre Problemas de Dimensionamento e Sequenciamento de Lotes Multinível. A abordagem metodológica utilizada é de revisão sistemática da literatura, tendo como base a teoria bibliométrica e análise de redes.

2. Revisão da Literatura

2.1. Modelos Integrados de Dimensionamento e Sequenciamento de Lotes

Nos últimos anos os modelos matemáticos aplicados à programação da produção evoluíram quanto às suas formulações, visando o objetivo comum de atender as necessidades reais das indústrias. Isto posto, na literatura são encontrados modelos matemáticos que abrangem de forma simultânea o dimensionamento de lotes e o sequenciamento da produção. Trabalhos importantes, que apresentam modelos matemáticos que realizam estas duas atividades simultaneamente podem ser citados, como Fleischmann (1990), Drexl e Haase (1995), Fleischmann e Meyr (1997), Drexl e Kimms (1997), Haase e Kimms (2000), Meyr (2000), Meyr (2002), Fabiano e Toledo (2006), Ferreira (2006), FERREIRA *et al.* (2009).

De acordo com Ferreira (2006), “estes modelos pretendem responder questões como: **Quanto, quando e em que sequência** produzir os itens, de forma a minimizar custos tais como custo de estoque, atrasos e preparação? Se forem consideradas várias máquinas, deve-se ainda determinar quais itens serão produzidos em cada máquina”. Drexl e Kimms (1997) apresenta de forma cronológica a evolução destes modelos, que está exemplificada a seguir. Estes modelos servem como base para o entendimento do problema em estudo nesta pesquisa.

O modelo EOQ, (*Economic Order Quantity*) proposto por Harris (1913), é apresentado como um modelo pioneiro no estudo de dimensionamento de lotes. Permite determinar tamanhos de lotes com objetivo de minimizar custos de produção de um único item levando em consideração custos de estocagem, e custos de preparação de máquina, sem considerar

restrições de capacidade. Nesse sentido, apresenta-se também o CLSP, Problema Capacitado de Dimensionamento de Lotes (*Capacited Lot Sizing Problem*), que se caracteriza por permitir a partição do horizonte de planejamento em períodos de tamanho suficiente, possibilitando a produção de múltiplos itens em um mesmo período.

Fleischmann (1990) apresenta o modelo DLSP, Problema Discreto de Dimensionamento e Programação de Lotes (*Discrete Lot Sizing and Scheduling Problem*). Segundo Drexel e Kimms (1997), a formulação matemática apresentada no DLSP é muito rigorosa. Este modelo se caracteriza pela divisão dos períodos e também por restringir a produção ao máximo de um item por período. De acordo com Pilkington e Meredith (2009), o DLSP possui complexidade NP-difícil e quando são considerados tempos de preparo ou máquinas paralelas torna-se um problema NP-completo.

No trabalho de Drexel e Haase (1995) propõe-se o PLSP (*Proportional Lot Sizing and Scheduling Problem*). Fleischmann e Meyr (1997) apresentam o Modelo GLSP, Problema Geral de Dimensionamento e Sequenciamento de Lotes (*General Lot Sizing and Scheduling Problem*), onde cada período é dividido em subperíodos sendo que em cada um dos subperíodos permite-se a produção do lote de um único tipo de item.

Meyr (2000) apresenta o GLSP-ST, Problema Geral de Dimensionamento e Sequenciamento de Lotes – Tempos de Setup (*General Lotsizing and Scheduling Problem - Setup Times*). Trata-se de uma variação do GLSP, que considera tempos de setup, sendo uma abordagem que se aproxima mais da realidade encontrada nas indústrias.

Ainda sobre a evolução dos modelos, Meyr (2002), apresenta uma extensão dos modelos GLSP e GLSP-ST. O modelo GLSPPL, Problema Geral de Dimensionamento e Sequenciamento de Lotes para Linhas de Produção em Paralelo (*General Lotsizing and Scheduling Problem for Parallel Production Lines*). O GLSPPL é um modelo que leva em consideração o fato de se trabalhar com máquinas paralelas distintas.

2.2. Modelos de Programação da Produção em Multiníveis

De acordo com Ferreira *et al.* (2013), “Certos ambientes produtivos exigem, além da programação, a sincronia de mais de um estágio ou nível da produção, tornando esta programação ainda mais complexa. Em determinados cenários de produção, é desejável ainda que, em cada estágio, o dimensionamento e o sequenciamento dos lotes de produção sejam definidos simultaneamente, uma vez que estas decisões são dependentes uma da outra e ambas podem consumir altos níveis de utilização de capacidade de produção”.

Em busca de satisfazer tais necessidades, Drexel e Kimms (1997) apresentam Modelo Geral para Dimensionamento e Sequenciamento de Lotes Multinível (*Multi-level lot sizing and scheduling*). Este modelo considera que a produção de um item final requer a produção de itens intermediários, os quais são produzidos em estágios anteriores.

Ambientes de produção que necessitam de mais de um nível produtivo vêm sendo estudados recentemente, uma vez que diversos trabalhos neste seguimento têm sido publicados nos últimos anos. Desta forma, pode-se citar trabalhos como: Araujo *et al.* (2007), Seeanner e Meyr (2013), Mohammad *et al.* (2009), Ferreira *et al.* (2009), Ferreira *et al.* (2008), Toledo *et al.* (2009), Helber (2010), Transchel *et al.* (2011), Ferreira *et al.* (2013), Ulbricht (2015b), Ulbricht (2015a), Ferreira (2006) e Boonmee e Sethanan (2016). Estes trabalhos tratam de diferentes abordagens e aplicações para o Problema de Produção em Multiníveis.

Como por exemplo, pode se destacar, por serem artigos recentes para a literatura, Ferreira *et al.* (2013) onde propõe-se reformulações matemáticas para o problema Multiestágio aplicado à uma produção de bebidas proposto por Ferreira *et al.* (2009).

Ulbricht (2015a) também pode ser citado como trabalho recente sobre esta abordagem. Neste trabalho são apresentadas formulações matemáticas para resolução de problemas Multiestágios, aplicado à uma indústria que produz placas eletrônicas. No caso do processo para a indústria de placas eletrônicas, existem dois níveis produtivos e entre estes um estoque intermediário com tempo mínimo de permanência. Sendo assim, este trabalho trata-se de uma variação do Problema de Produção em Multiníveis, explorado nesta pesquisa.

Boonmee e Sethanan (2016) tratam de um importante e atual trabalho, onde é realizada uma aplicação do problema capacitado para programação da produção em múltiplos níveis à uma indústria alimentícia. Neste trabalho faz-se uso da Programação Inteira Mista (PIM), na resolução de problemas de pequeno porte. Para resolução de problemas de grande porte utiliza-se a Otimização por Enxame de Partículas (PSO), no entanto a aplicação tradicional não foi o suficiente. Os autores apresentam, portanto, uma variação da PSO, que permitiu chegar à solução ótima do problema e apresentou resultados satisfatórios quando comparadas a outras heurísticas.

2.3. Métodos de Resolução

Modelos matemáticos que tratam da produção em mais de um nível são problemas complexos e de difícil resolução. Sendo assim, recorre-se a métodos de resoluções não exatos.

Estes problemas fazem uso da PIM e podem ser resolvidos por métodos exatos (como por exemplo *Branch and Cut* e *Branch and Bound*), heurísticos ou meta-heurísticos. No entanto, segundo Ferreira (2006), à medida que os problemas aumentam, e se aproximam da realidade, aumenta também a complexidade de resolução.

De acordo com Ferreira et al. (2008), “[...] modelos de otimização inteira mista são difíceis de serem resolvidos, mesmo aqueles que considerem apenas o dimensionamento de lotes. Alguns deles pertencem à classe de problemas NP-difícil”. Já para Meyr (2002), “para alguns problemas, até o fato de encontrar uma solução factível para iniciar a pesquisa de melhores soluções, é uma difícil tarefa. Muitos pesquisadores têm recorrido a heurísticas, abordagens meta-heurísticas, hibridização ou um método de relaxação do modelo, para tratar da complexidade de encontrar soluções ótimas ou quase ótimas em tempo computacional razoável”.

A maior parte dos métodos para resolver modelos que realizam o dimensionamento e sequenciamento da produção de forma integrada utilizam métodos híbridos que combinam heurísticas e relaxações (MEYR, 2000).

3. Metodologia

3.1. Bibliometria –Método Utilizado

De acordo com Pilkington e Meredith (2009), a bibliometria pode ser definida como o emprego de padrões de escrita, publicações e de literatura pela aplicação de diversas análises estatísticas. Outra definição de análise bibliométrica apresentada por estes mesmos autores é: “a técnica de investigação que tem por fim a análise do tamanho, crescimento e distribuição da bibliografia num determinado campo do conhecimento”. Desse modo, é essencial compreender as três leis básicas da bibliometria, que tem relação direta com presente trabalho e proporciona melhor entendimento dos dados. i) Lei de Zipf: Mensura a frequência de ocorrência de palavras; ii) Lei de Lotka: Trata da produtividade de autores; e iii) Lei de Bradford: Diz respeito à produtividade de periódicos (BUFREM; PRATES, 2005).

As leis bibliométricas fazem uso da análise matemática e estatística de dados para investigar e quantificar a produção científica sobre determinado assunto. A análise de redes sociais é uma

técnica interdisciplinar desenvolvida sob forte influência matemática, com a teoria dos grafos e da ciência da computação. No estudo bibliométrico vem se consolidando como ferramenta fundamental de estudo de interação entre autores e temas relacionados, como as redes de citações e de cocitações (OTTE; ROUSSEAU, 2002). Seu uso se justifica, quando por meio desta, torna-se possível identificar um conjunto de autores e suas respectivas ligações, acerca de determinado tema ou área.

Análises quanto à citação possibilitam a identificação de padrões como autores mais citados, mais produtivos e procedência geográfica (ARAÚJO, 2006). Partem da premissa de que autores citam artigos que consideram importantes no desenvolvimento de suas pesquisas e, segundo Bufrem e Prates (2005), qualquer ato de citar o autor de artigo anterior é sempre significativo. Sendo assim, os trabalhos mais citados teriam maior influência sobre a área do que aqueles menos citados (A. TAHAI AND M. J. MEYER, 1999).

Já a rede de cocitação verifica o grau de ligação entre dois ou mais artigos pelo número de documentos que os citam (ARAÚJO, 2006). Esta análise tem como premissa fundamental que, quanto mais dois documentos são cocitados conjuntamente, maior é a probabilidade de que tenham conteúdos relacionados (SPINAK, 1996). Logo, se justifica à medida que possibilita a identificação de grupos de ciência acerca de um tema em estudo, estabelecidos por conjuntos de autores que frequentemente se referenciam (ENDLER et al., 2015).

3.2. Definição da base de dados

No que diz respeito à determinação da base de dados, optou-se por utilizar a plataforma *ISI Web of Science* (WoS), por incluir revistas com fator de impacto calculado pelo JCR (*Journal Citation Report*), recurso que permite avaliar e comparar os periódicos e sua relevância em uma determinada área. Além de fornecer um conjunto relevante de informações para a análise bibliométrica (M. CARVALHO, A. FLEURY, 2013).

A base *ISI – Web of Science*, integrante do grupo *Thomson Scientific*, se trata da base mais antiga que existe no contexto da literatura internacional, e por consequência, a que possui o maior número de dados para a realização da análise bibliométrica. Além disso, abrange revistas com maior fator de impacto se comparada com bases como a da *Scopus* (CHADEGANI et al., 2013).

3.3. Definição da amostra

A amostra de artigos foi definida a partir da escolha da base de dados, da identificação das palavras-chave, da determinação das áreas de pesquisa e dos tipos de documentos publicados.

A pesquisa e definição da amostra foram restringidas até a data de 29/02/2016, data de realização da pesquisa na base selecionada. O processo de determinação da amostra e seus respectivos resultados quanto ao número de trabalhos está ilustrado na Figura 1.

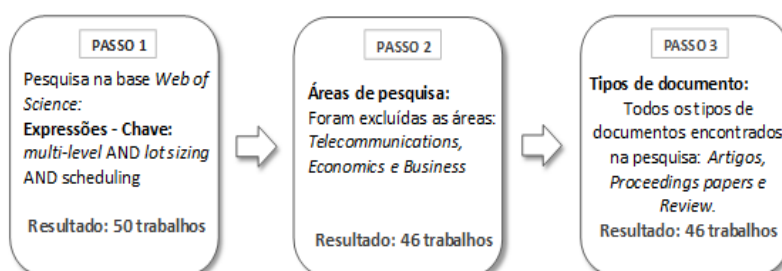


Figura 1– Processo de definição da amostra. Fonte: Os Autores (2016).

3.4. Tratamento Bibliométrico dos Dados Coletados

O tratamento bibliométrico dos registros coletados foi realizado em duas etapas, sendo estas:

Etapa I) Estatística descritiva, onde foram realizadas análises como: Distribuição das publicações sobre o tema ao longo dos anos, autores que mais publicam sobre o tema em pesquisa, periódicos que mais publicam e por fim realizou-se análise do número de citações dos trabalhos e como estas se têm sido citadas ao longo do tempo.

Etapa II) Análise de redes sociais. Construiu-se uma rede de cocitação, com o objetivo de identificar bases teóricas e grupos de autores que publicam sobre o assunto abordado pela pesquisa. Para organização dos registros coletados na base de dados WoS, fez-se uso do software *Bibexcel* (O. PERSSON, R. DANELL, 2009) e para a construção da rede de cocitação utilizou-se o software *Pajek* (V. BATAGELJ, 1998).

4. Análise dos Resultados

A primeira análise descritiva realizada foi quanto à evolução das publicações ao longo dos anos. Esta análise busca identificar tendências de crescimento ou declinação no desenvolvimento de estudos na área que trata de modelos matemáticos para Problemas de Produção que envolvem Multiestágios, classificando os artigos da amostra de acordo com o ano de publicação (Figura 2).

A partir desta análise foi possível identificar que a primeira publicação que abordou um ambiente de produção em mais de um nível ou estágio ocorreu no ano de 1993 (HILL, 1993).

Sum e Hill (1993) apresentam uma nova estrutura para tratar de Problemas de Planejamento e Controle da Produção em tempo contínuo. Considera-se parâmetros e variáveis como: capacidade, custo total, tamanhos de lotes, data de entrega, sequência das tarefas, múltiplos níveis de produção, horizonte finito de planejamento, atraso e uma demanda dinâmica.

A evolução quanto ao volume de publicações, de acordo com o gráfico, apresenta caráter cíclico com picos nos anos de 1993, 1996, 2010, 2011 e 2013, intercalados por períodos com menor ou volume ou nenhuma publicação, como os anos de 2000, 2001 e 2014. O ano de 2013 apresentou o maior número de publicações com seis trabalhos no total, o que mostra que é um tema ainda pouco publicado. Esta análise permitiu constatar que o tema abordado no presente estudo é um tema recente, devido à primeira publicação que trata de um ambiente de produção que considera mais de um estágio ou nível produtivo ter ocorrido no ano 1993, e por conter um número pequeno de publicações ainda hoje, quando comparado a outras abordagens relacionadas à Programação da Produção, como por exemplo *Scheduling* ou Sequenciamento da Produção.

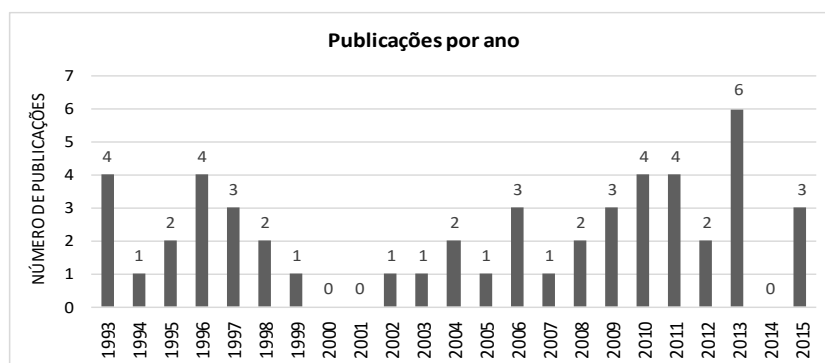


Figura 2 – Evolução das publicações da amostra ao longo dos anos. Fonte: Os Autores (2016)

Uma segunda análise, que tem por objetivo identificar os principais autores, países de origem e periódicos quando se trata de volume de publicação, está apresentada nas figuras:

A partir da análise representada pela Figura 3, foi possível identificar os dez autores que mais publicam sobre o tema abordado. Sendo que o autor que possui maior volume de publicações é o autor A. Kimms, com 5 trabalhos publicados. Em seguida encontram-se os autores S. Helber, J. Jeunet e H. Tempelmeier em segundo lugar, com 3 publicações cada.

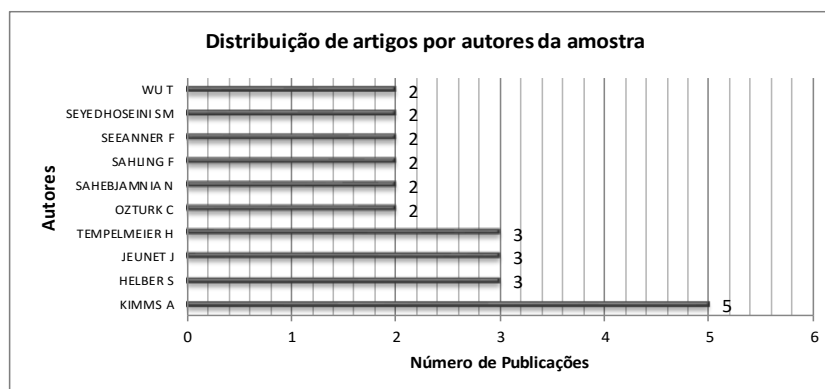


Figura 3 – Dez autores com maior número de publicação da amostra. Fonte: Os Autores (2016)

Além disso, analisou-se também a distribuição dos artigos da amostra por periódico de publicação, observa-se na Figura 4 os periódicos com no mínimo duas publicações. A revista *European Journal of Operational Research* apresenta 8 publicações, se classificando como a revista que mais publica sobre o tema, e em seguida, *International Journal of Production Economics*, *International Journal of Production Research* e *OR SPECTRUM* (ou *OR SPEKTRUM*) com 6 publicações cada.

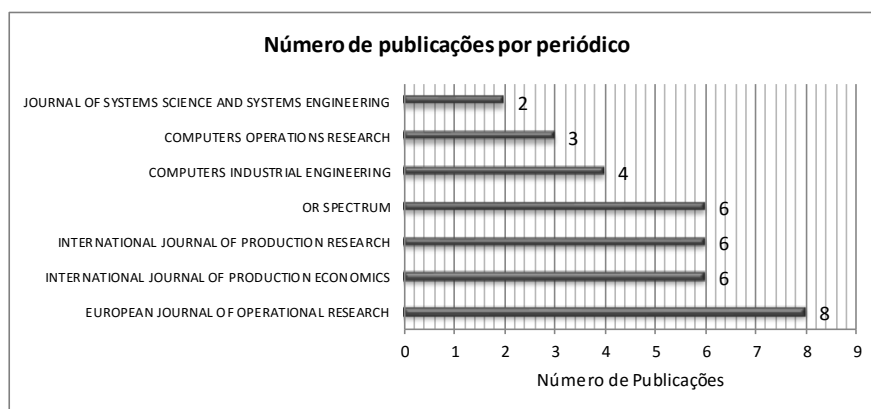


Figura 4 – Comparativo da distribuição das publicações da amostra pelos principais periódicos. Fonte: Os Autores (2016)

Quanto ao número de citações referente aos 10 trabalhos mais citados, foram realizadas sob duas diferentes perspectivas. A primeira (Tabela 1) apresenta de forma detalhada os dados de cada um dos dez trabalhos que se destacam quanto ao número de citações e seus respectivos periódicos de publicação. A segunda análise apresentada na Figura 5, mostra o quanto estes artigos foram citados ao longo dos anos, destacando a importância, por exemplo, de artigos mais antigos, mas que servem de referência para as publicações mais recentes.

Em relação ao número de citações, o artigo Drexel e Kimms (1997) destaca-se em relação aos demais, com 239 citações. Este trabalho apresenta uma revisão da literatura de todos os modelos matemáticos que tratam da programação da produção, aplicando de forma integrada

o dimensionamento e sequenciamento de lotes. Além de apresentar os modelos clássicos existentes e a evolução dos mesmos, até o ano de publicação (1997), os autores propõem um modelo que envolve a situação real da produção em Múltiplos Níveis (ou estágios).

Autor (Ano de Publicação)	Título	Periódicos	Número de Citações
DREXL, A; KIMMS, A (1997)	Lot sizing and scheduling - Survey and extensions	European Journal of Operational Research	239
BUSCHKUEHL, USBETH; SAHLING, FLORIAN; HELBER, STEFAN; TEMPELMEIER, HORST (2010)	Dynamic capacitated lot-sizing problems: a classification and review of solution approaches	OR Spectrum	46
FANDEL, GUENTER; STAMMINEN-HEGENE, CATHRIN (2006)	Simultaneous lot sizing and scheduling for multi-product multi-level production	International Journal of Production Economics	37
KIMMS, A (1999)	A genetic algorithm for multi-level, multi-machine lot sizing and scheduling	Computers and Operation Research	36
TANG, O (2004)	Simulated annealing in lot sizing problems	International Journal of Production Economics	35
KIMMS, A (1996)	Multi-level, single-machine lot sizing and scheduling (with initial inventory)	European Journal of Operational Research	33
HELBER, STEFAN; SAHLING, FLORIAN (2010)	A fix-and-optimize approach for the multi-level capacitated lot sizing problem	International Journal of Production Economics	32
LEE, DH; XIROUCHAKIS, P; ZUST, R (2002)	Disassembly scheduling with capacity constraints	European Journal of Operational Research	23
SEGERSTEDT, A (1996)	A capacity-constrained multi-level inventory and production control problem	International Journal of Production Economics	18
SUM, CC; HILL, AV (1993)	A NEW FRAMEWORK FOR MANUFACTURING PLANNING AND CONTROL-SYSTEMS	Decision Sciences	18

Tabela 1 - Classificação Dos Artigos Quanto Ao Número De Citações. Fonte: Os Autores (2016)

No que concerne a distribuição dos trabalhos mais citados ao longo dos anos. Analisar como a curva de citações dos artigos apontados como mais importantes devido à quantidade de vezes que foram citados por outros autores é uma análise relevante. A partir desta é possível identificar artigos importantes para o estudo do tema abordado, como por exemplo, um artigo que é citado mesmo que por menos autores, porém por um tempo significativo em relação ao tempo em que este tema está sendo pesquisado, trata-se de um trabalho importante para o assunto, uma vez que o mesmo continua sendo citado com o passar dos anos e com a evolução dos modelos matemáticos.

A distribuição temporal dos 10 artigos mais citados revela que a primeira citação ocorreu em 1995, de Sum e Hill (1993) que tem como título “*A New Framework for Manufacturing Planning and Control-Systems*”, trabalho que apareceu na análise de evolução das publicações ao longo do tempo como o primeiro a ser publicado, sobre o tema abordado. Além disso, observa-se que o mesmo continuou sendo citado até o ano de 2012. Sendo assim, pode-se dizer que esta é uma importante produção quando se pretende pesquisar sobre Problemas de Produção em Múltiplos Níveis.

Esta análise dá destaque também para o artigo Drexel e Kimms (1997), publicado no periódico *European Journal of Operational Research*. Este foi apontado como o trabalho que possui o maior número de citações, além disso, a análise dos resultados representados pela Figura 5 mostra que este é o trabalho que foi mais citado no decorrer dos anos, desde que o que mesmo foi publicado até o ano de 2014, sendo que em 2011 foi citado 29 vezes. Trata-se de um trabalho relevante para a literatura, uma vez que o mesmo tem sido citado em trabalhos recentes. De acordo com o gráfico, este trabalho somente não foi o mais citado por outros autores no ano de 2015, ficando em 2º lugar. Em 2015, pode-se destacar o trabalho Buschkühl *et al.* (2010) que se trata de uma revisão da literatura, um *Review* que traz diferentes perspectivas e abordagens do Dimensionamento de Lotes Capacitado, assunto que serve como referência teórica para o tema em pesquisa, uma vez que a partir destes modelos que surgiram os modelos clássicos em que o modelo para Problemas em Múltiplos níveis (*Multilevel Problem*) se baseia.

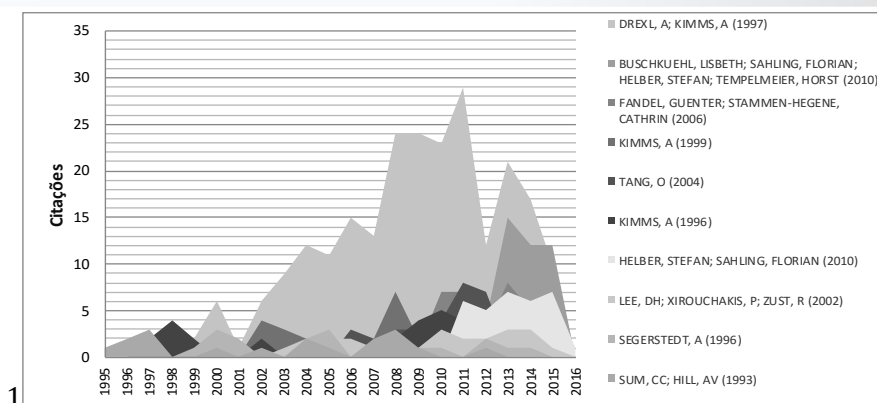


Figura 5 – Distribuição temporal das citações aos 10 artigos mais citados na base WoS. Fonte: Os Autores (2016)

Com o objetivo de identificar bases teóricas sobre as quais os artigos da amostra foram desenvolvidos e a relação que estes têm entre si, construiu-se uma Rede de Cocitação (Figura 6). Esta rede relaciona as citações e as referências utilizadas por pelo menos 8 artigos da amostra.

Para a análise dos assuntos sobre os quais se referem os trabalhos mais utilizados como referência a rede de cocitação foi dividida em quatro clusters (agrupamentos de cocitações de um mesmo tema).

O *cluster 1* aponta artigos que tratam de temas que servem como base para o entendimento do problema em pesquisa. Por exemplo, o trabalho Whitin (1958) trata de uma abordagem para Lote Econômico, onde é apresentado um modelo dinâmico baseado em EOQ (*Economic Order Quantity*), o qual é considerado como um modelo pioneiro no seguimento do tema desta pesquisa. Eppen e Martin (1987) apresenta formulações de Programação Inteira e Mista (PIM) aplicada à Programação da Produção. Por fim, Segerstedt (1996) propõe abordagens de programação matemática e formulações de redução do problema para sistemas produtivos que possuem limitação de capacidade.

O *cluster 2* é constituído por *Reviews*, ou seja, artigos que apresentam uma revisão bibliográfica acerca de um assunto. O trabalho de H. C. Bahl (1987) dispõe de uma revisão em abordagens para o dimensionamento de lotes no planejamento da produção capacitado. A partir desta revisão, os autores concluem que a limitação de capacidade, assim como imprecisão na data de entrega, demandas incertas e outras realidades presentes nas indústrias são os pontos críticos do problema, tornando-o mais difícil de resolver.

Drexel e Kimms (1997) apresentam uma revisão de modelos matemáticos que tratam do dimensionamento e sequenciamento da produção de forma simultânea. A evolução dos modelos é apresentada e suas características discutidas e com base nos modelos discutidos é proposto um Modelo Multinível. Pode-se destacar este artigo, pois, além de ser apontado pela análise de número de citações como o trabalho mais citado sobre o tema em estudo, está entre os artigos mais utilizados como referência pelos trabalhos da amostra. O último trabalho que constitui este cluster apresenta uma revisão dos modelos e algoritmos aplicados ao problema do dimensionamento de lotes capacitado (KARIMI *et. al.*, 2003).

O terceiro *cluster* possui quatro trabalhos que apresentam diferentes perspectivas do dimensionamento de lotes dinâmico. Maes (1991) aborda um problema de dimensionamento de lotes capacitado para múltiplos itens em um ambiente de produção sob condições de demanda dinâmica. Propõe-se neste trabalho uma heurística nível-a-nível, testada e comparada à solução ótima. Tempelmeier e Helber (1994) também apresenta uma abordagem

para o problema de dimensionamento de lotes capacitado, neste caso para múltiplos itens e níveis produtivos. Neste trabalho propõe-se uma modificação de uma heurística já apresentada para a resolução do problema. A heurística proposta busca encontrar de forma simplificada uma sequência de dimensionamento de lotes capacitado com apenas um nível e múltiplos itens. (DERSTROFF, 1996) apresenta uma abordagem heurística para o problema de dimensionamento de lotes capacitado dinâmico envolvendo múltiplos itens e níveis. Com o uso da Relaxação Lagrangeana o problema é decomposto em vários problemas de dimensionamento para apenas um item e incapacitado. E o último trabalho deste agrupamento, Pochet e Wolsey (2006), se trata de um livro que apresenta abordagens, formulações e otimizações por meio de MIP e algoritmos para Planejamento e Programação da Produção. Essa referência pode ser utilizada como base teórica para o estudo do problema e métodos de resolução a serem utilizados.

O último *cluster*, que conta com apenas um artigo representa uma abordagem para a resolução do problema que aborda de forma integrada o Dimensionamento e Sequenciamento de Lotes. Fleischmann (1990) propõe o modelo DLSP, Problema Discreto de Dimensionamento e Sequenciamento de Lotes (*Discrete Lot Sizing and Scheduling Problem*).

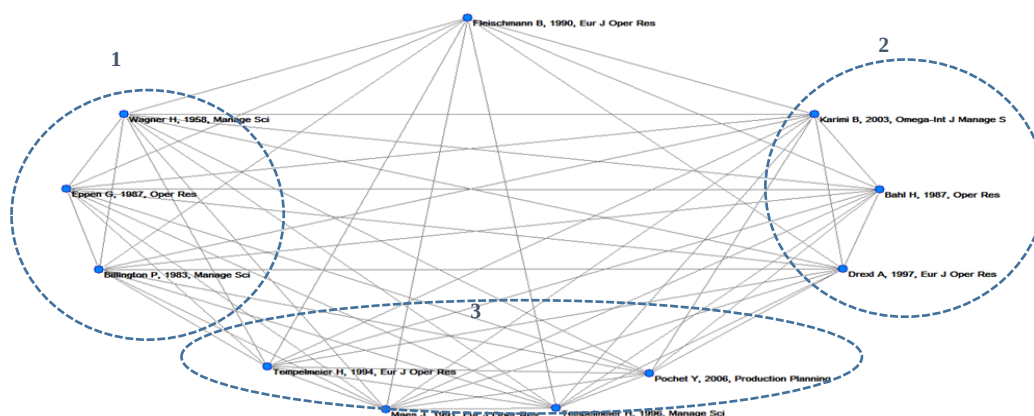


Figura 6 – Rede de cocitação. Fonte: Os Autores (2016)

5. Conclusão

A detecção dos principais autores, artigos, periódicos de publicações, países de origem dos autores e palavras-chave sobre o tema em estudo contribuem demasiadamente para a consolidação do conhecimento disponível e para o desenvolvimento de novas pesquisas e conceitos da área. Além disso, análises de cocitação que apontam trabalhos que servem como base para o entendimento do assunto podem significar um ponto de partida para que estudiosos sobre o assunto.

Uma limitação quanto a pesquisa realizada é a escolha de uma plataforma para realização da mesma. Apesar da *Web of Science* se tratar da plataforma mais antiga e que possui o maior número de publicações e com maior fator de impacto quando comparada as outras, a mesma tem predominância de publicações em língua inglesa. Sendo assim, publicações que podem ser relevantes para o tema, provenientes da América Latina, ou em línguas que não sejam inglesas como espanhol, português e o francês, não necessariamente pertencem a amostra utilizada.

Uma sugestão para pesquisas futuras pode ser uma avaliação sistemática do tema, uma vez que ficou evidente pelos resultados encontrados que, trata-se de um problema muito complexo quando se aproxima dos problemas reais encontrados no cotidiano das indústrias. Caberia neste caso uma avaliação que classificasse os trabalhos por: métodos de resolução;

ambientes produtivos mais encontrados; aplicações mais frequentes; tipos de função objetivo; critério de desempenho adotado; presença de estoque intermediário entre os níveis; existência ou não de setups dependentes da sequência.

Referências

- A. PILKINGTON AND J. MEREDITH.** *The evolution of the intellectual structure of operations management – 1980-2006: a citation/co- citation analysis.* Journal of Operations Management, v. 27, p. 185–202, 2009.
- A. TAHAI AND M. J. MEYER.** *A revealed preference study of management journals' direct influences.* Strategic Management Journal, v. 20, n. 3, p. 279–296, 1999.
- ARAÚJO, C. A.** *Bibliometria: evolução história e questões atuais.* Em Questão, v. 12, n. 1, p. 11–32, 2006.
- BAKER, K. R.; TRIETSCH, D.** Principles of Sequencing and Scheduling. [s.l: s.n.].
- BOONMEE, A.; SETHANAN, K.** *A GLNPSO for multi-level capacitated lot-sizing and scheduling problem in the poultry industry.* European Journal of Operational Research, v. 250, n. 2, p. 652–665, 2016.
- BRAHIMI, N. et al.** *Single item lot sizing problems.* European Journal of Operational Research, v. 168, n. 1, p. 1–16, 2006.
- BUFREM, L.; PRATES, Y.** *O saber científico registrado e as práticas de mensuração da informação.* Ciência da Informação, v. 34, n. 2, p. 9–25, 2005.
- DE ARAUJO, S. A.; ARENALES, M. N.; CLARK, A. R.** *Joint rolling-horizon scheduling of materials processing and lot-sizing with sequence-dependent setups.* Journal of Heuristics, v. 13, n. 4, p. 337–358, 2007.
- DERSTROFF, H. T. AND M.** *A Lagrangean-Based Heuristic for Dynamic Multilevel Multiitem Constrained Lotsizing with Setup Times.* Management Science, v. 42, p. 738–757, 1996.
- DREXL, A., HAASE, K.** *Proportional lotsizing and scheduling.* International Journal of Production Economics, v. 40, p. 73–87, 1995.
- DREXL, A.; KIMMS, A.** *Lot sizing and scheduling — Survey and extensions.* European Journal of Operational Research, v. 99, n. 2, p. 221–235, 1997a.
- ENDLER, K. D. et al.** *Operations Scheduling in Permutation Flow Shop Systems : a Bibliometric Contribution.* IEEE LATIN AMERICA TRANSACTIONS, v. 13, n. 12, p. 3966–3973, 2015.
- EPPEN, G. D.; R. K. MARTIN.** *Solving Multi-Item Capacitated Lot-Sizing Problems Using Variable Redefinition.* Operations Research, v. 35, n. 6, p. 832–848, 1987.
- FABIANO, C.; TOLEDO, M.** *Resolução de um Problema Integrado de Dimensionamento de Lotes e Programação da Produção utilizando Algoritmo Genético.* Encontro Nacional de Engenharia de Produção, p. 1–10, 2006.
- FERREIRA, D.** *Abordagens para o Problema Integrado de Dimensionamento e Sequenciamento de Lotes da Produção de Bebidas.* Tese de doutorado, p. 247, 2006.
- FERREIRA, D.; ALMADA-LOBO, B.; MORABITO, R.** *Formulações monoestágio para o problema de programação da produção de bebidas dois estágios com sincronia.* Produção, v. 23, n. 1, p. 107–119, 2013.
- FERREIRA, D.; MORABITO, R.; RANGEL, S.** *Um modelo de otimização inteira mista e heurísticas relax and fix para a programação da produção de fábricas de refrigerantes de pequeno porte.* Produção, v. 18, n. 1, p. 76–88, 2008.
- FERREIRA, D.; MORABITO, R.; RANGEL, S.** *Solution approaches for the soft drink integrated production lot sizing and scheduling problem.* European Journal of Operational Research, v. 196, n. 2, p. 697–706, 2009.
- FLEISCHMANN, B.** *The discrete lot-sizing and scheduling problem.* European Journal of Operational Research, p. 337–348, 1990.
- FLEISCHMANN, B.; MEYR, H.** *The general lotsizing and scheduling problem.* OR Spektrum, v. 19, n. 1, p. 11–21, 1997.
- H. C. BAHL, L. E. R. AND J. N. D. G.** *Determining lot sizes and resource requirements: a review.* Operations Research, v. 35, p. 329–345, 1987.
- H. TEMPELMEIER AND S. HELBER.** *A heuristic for dynamic multi-item multi-level capacitated lotsizing*

for general product structures. *European Journal of Operational Research*, v. 75, n. 2, p. 296–311, 1994.

HAASE, K.; KIMMS, A. *Lot sizing and scheduling with sequence-dependent setup costs and times and efficient rescheduling opportunities*. *International Journal of Production Economics*, v. 66, p. 159–169, 2000.

HARRIS, F. W. *Factory the Magazine of Management*, v. 10, p. 135–152, 1913.

HELBER, S.; Â, F. S. *Int . J . Production Economics A fix-and-optimize approach for the multi-level capacitated lot sizing problem*. *Intern. Journal of Production Economics*, v. 123, n. 2, p. 247–256, 2010.

HILL, C. C. S. A. V. *A New Framework for Manufacturing Planning and Control-Systems*. *Decision Sciences*, 1993.

J. MAES, L. N. V. W. *Capacitated dynamic lotsizing heuristics for serial systems*. *International Journal of Production Research*, v. 29, n. 6, p. 1235–1249, 1991.

KARIMI, B.; FATEMI GHOMI, S. M. T.; WILSON, J. M. *The capacitated lot sizing problem: a review of models and algorithms*. *Omega*, v. 31, n. 5, p. 365–378, 2003.

M. CARVALHO, A. FLEURY, A. P. L. *An overview of the literature on technology roadmapping (TRM): contributions and trends*. *Technological Forecasting and Social Change*, v. 80, n. 7, p. 1418–1437, 2013.

MEYR, H. *Simultaneous Lotsizing and Scheduling by Combining Local Search with Dual Reoptimization*. *European Journal of Operational Research*, v. 120, p. 311–326, 2000.

MEYR, H. *Simultaneous lotsizing and scheduling on parallel machines*. *European Journal of Operational Research*, v. 139, n. 2, p. 277–292, 2002.

MOHAMMAD M; FATEMI S. M. T., KARIMI B., T. S. A. *Development of heuristics for multiproduct multi-level capacitated lotsizing problem with sequence-dependent setups*. *J Appl Sci*, v. 9, n. 2, p. 296–303, 2009.

O. PERSSON, R. DANELL, J. W. S. *How to use Bibexcel for various types of bibliometric analysis*. *Celebrating scholarly communication studies*, p. 9–24, 2009.

OTTE, E.; ROUSSEAU, R. *Social Network Analysis: A Powerful Strategy, also for the Information Sciences*. *Journal of Information Science*, v. 28, n. 6, p. 441–453, 2002.

PINEDO, M. L. *Planning and scheduling in manufacturing and services*, 2005.

SEEANNER, F.; MEYR, H. *Multi-stage simultaneous lot-sizing and scheduling for flow line production*. *OR Spectrum*, v. 35, p. 33–73, 2013.

SEGERSTEDT, A. *A capacity-constrained multi-level inventory and production control problem*. *International Journal of Production Economics*, v. 45, n. 1-3, p. 449–461, 1996.

SPINAK, E. *Diccionario Enciclopédico de Bibliometría, Cienciometría e Informetría*. [s.l.: s.n.].

TOLEDO, C. F. M.; FRANÇA P. M.; MORABITO, R. A. *Multi-population genetic algorithm to solve the synchronized and integrated two-level lot sizing and scheduling problem*. *Int J Prod Res*, v. 47, n. 11, p. 3097–3119, 2009.

TRANSCHEL, S. et al. *A hybrid general lot-sizing and scheduling formulation for a production process with a two-stage product structure*. *International Journal of Production Research*, v. 49, n. 9, p. 2463–2480, 2011.

ULBRICHT, G. *Um Modelo De Planejamento Da Produção Multiestágio Com Estoques Intermediários Limitados*. [s.l.] Universidade Federal do Paraná, 2015a.

ULBRICHT, G. *A Production Programming Model Multistage with Intermediate Stocks*. v. 9, n. 43, p. 2111–2124, 2015b.

V. BATAGELJ, A. M. *Pajek – program for large network analysis*. *Connections*, p. 47–57, 1998.

Y. POCHET AND L.A. WOLSEY. *Production Planning by Mixed Integer Programming*. *Operations Research and Financial Engineering*, 2006.