

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta dissertação será disponibilizado somente a partir de 26/02/2023.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Faculdade de Ciências e Tecnologia

Júlio de Mesquita Filho

Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologia de Materiais

PAULA RENATA MONTEIRO BIGOLTI

**ABORDAGENS PARA O PROBLEMA DE DIMENSIONAMENTO DE
LOTES MULTISTÁGIO EM UMA EMPRESA FABRICANTE DE
PEÇAS ESPECIAIS EM BORRACHAS, TERMOPLÁSTICOS E
POLIURETANO**

Presidente Prudente - SP

2021

PAULA RENATA MONTEIRO BIGOLTI

**ABORDAGENS PARA O PROBLEMA DE DIMENSIONAMENTO DE
LOTES MULTISTÁGIO EM UMA EMPRESA FABRICANTE DE
PEÇAS ESPECIAIS EM BORRACHAS, TERMOPLÁSTICOS E
POLIURETANO**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Mestre à Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Materiais (POSMAT), sob a orientação do Prof. Dr. Renivaldo José dos Santos e coorientação da Profa. Dra. Tamara Angélica Baldo.

Presidente Prudente - SP

2021

B594a

Bigoloti, Paula Renata Monteiro

Abordagens para o problema de dimensionamento de Lotes multiestágios em uma empresa fabricante de peças especiais em borrachas, termoplásticos e poliuretano / Paula Renata Monteiro Bigoloti. -- Presidente Prudente, 2021

85 p. : tabs., fotos

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),
Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente

Orientador: Dr. Renivaldo José dos Santos

Coorientadora: Dra. Tamara Angélica Baldo

1. PCP. 2. Problemas de dimensionamento de lotes. 3. Otimização. 4.
Indústria de peças de borrachas, termoplásticos e poliuretano. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências e
Tecnologia, Presidente Prudente. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE PAULA RENATA MONTEIRO BIGOLOTI, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MATERIAIS, DA FACULDADE DE CIÊNCIAS - CÂMPUS DE BAURU.

Aos 26 dias do mês de fevereiro do ano de 2021, às 14:00 horas, por meio de Videoconferência, realizou-se a defesa de DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de PAULA RENATA MONTEIRO BIGOLOTI, intitulada **ABORDAGENS PARA O PROBLEMA DE DIMENSIONAMENTO DE LOTES E SEQUENCIAMENTO DA PRODUÇÃO EM UMA EMPRESA FABRICANTE DE PEÇAS ESPECIAIS EM BORRACHAS, TERMOPLÁSTICOS E POLIURETANO**. A Comissão Examinadora foi constituída pelos seguintes membros: Prof. Dr. RENIVALDO JOSE DOS SANTOS (Orientador(a) - Participação Virtual) do(a) Curso de Engenharia de Energia / Campus Experimental de Rosana, Prof. Dr. EDSON DENIS LEONEL (Participação Virtual) do(a) Departamento de Física / Instituto de Geociências e Ciências Exatas de Rio Claro, Prof. Dr. ELTON APARECIDO PRADO DOS REIS (Participação Virtual) do(a) Toledo / Toledo Centro Universitário. Após a exposição pela mestrandia e arguição pelos membros da Comissão Examinadora que participaram do ato, de forma presencial e/ou virtual, a discente recebeu o conceito final: APROVADO. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelo(a) Presidente(a) da Comissão Examinadora.


Prof. Dr. RENIVALDO JOSE DOS SANTOS

Conforme acordado com a banca examinadora, segue o novo título de trabalho:

"ABORDAGEM PARA O PROBLEMA DE DIMENSIONAMENTO DE LOTES MULTISTÁGIO EM UMA EMPRESA FABRICANTE DE PEÇAS ESPECIAIS EM BORRACHAS, TERMOPLÁSTICOS E POLIURETANO"

*Dedico este trabalho ao meus pais,
ao meu marido e a minha filha
que com muito carinho, apoio e
compreensão acreditaram que eu
concluiria esta etapa importante
de minha vida.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente a Deus por todas as oportunidades proporcionadas nesta caminhada e por ter me iluminado e acompanhado todo o tempo.

Ao meu marido Júlio e minha filha Clara, pelo amor dedicado e por toda ausência em muitos momentos. Júlio você é meu porto seguro, me completa e motiva constantemente a não desistir dos meus objetivos, obrigada por tudo. Amo muito vocês.

Ao meu pai Paulo (em memória) e minha mãe Luzia por ser tão forte e companheira, obrigada por tudo que faz. Agradeço imensamente a educação que me proporcionaram.

A minha irmã Flávia e ao meu cunhado Paulo, por todo carinho e parceria. Flá, obrigada, pois mesmo longe sempre tão presente e amiga. Nossa cumplicidade é incrível, e que continue para sempre assim.

Ao meu orientador Renivaldo José dos Santos, pela confiança e apoio demonstrados.

A minha coorientadora Tamara Angélica Baldo, pela confiança, apoio e dedicação.

Obrigada por me aceitarem como vossa orientanda e contribuírem para a conclusão desta pesquisa. Vocês são profissionais incríveis que admiro muito. Foi uma honra trabalhar com vocês. Obrigada por tudo.

Aos meus amigos de trabalho (UNOESTE) Clara, Andreia e Felipe que sempre incentivaram e vibraram com minhas conquistas. Felipe, em especial agradeço a você pela minha conquista; sua inteligência, bondade e ajuda foram essenciais. Obrigada por tudo.

Aos amigos que o mestrado me proporcionou Williene, Jaqueline, José Augusto, Toninho e Beatriz. Obrigada pelo companheirismo e ajuda.

A todos os professores e funcionários do programa Posmat.

Aos professores da banca por terem aceitado o convite.

As minhas amigas irmãs de vida Lílíane, Andréa e Gisele; o vosso incentivo e apoio nos momentos mais difíceis eu nunca esquecerei. A presença de vocês em minha vida só comprova que o amor de irmãos não se limita a termos os mesmos pais, mas sim a cumplicidade e presença sempre nos momentos em que mais precisamos. Amo vocês. A empresa, fabricante de peças especiais de borracha, poliuretano e termoplásticos, que forneceu os dados para minha pesquisa, em especial aos proprietários Gustavo e Fabiana, sempre muito atenciosos e prestativos com os dados e abertura para visitas, tudo foi essencial para que eu conseguisse concluir meu trabalho. Sempre serei muito grata.

“Tudo posso naquele que me fortalece”.

(Filipenses 4:13)

Bigoloti, P. R. M. **Abordagens para o problema de dimensionamento de lotes multiestágio em uma empresa fabricante de peças especiais em borrachas, termoplásticos e poliuretano.** 2021. Dissertação (Mestre em Ciência e Tecnologia de Materiais) UNESP de Presidente Prudente, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Materiais (POSMAT), Presidente Prudente, 2021.

Resumo

Esta pesquisa aborda o problema multiestágio de dimensionamento de lotes de produção encontrado em uma empresa fabricante de peças especiais de borracha, termoplásticos e poliuretano, onde todas as peças comercializadas são vulcanizadas. A empresa estudada está localizada no interior do estado de São Paulo, atua há aproximadamente 15 anos no mercado, e possui uma única linha de produção, cujos produtos passam por diversas atividades sequenciais durante o processo produtivo: carregamento do molde, prensa (vulcanização e cura), descarregamento do molde, rebarba, estufa (pós cura) e higienização. Analisando cuidadosamente cada atividade durante o processo de elaboração do plano de produção, notou-se que algumas atividades poderiam ser agrupadas, sem perda de informações e detalhamento, em dois estágios sequenciais distintos. O primeiro estágio é composto pela etapa de prensa (vulcanização e cura). No segundo estágio está a atividade de estufa (pós-cura). O segundo estágio inicia apenas se o produto tiver finalizado todas as atividades que compõem o primeiro estágio; logo, para a elaboração de um plano de produção exequível, ambos os estágios precisam ser considerados simultaneamente. Portanto, esta dissertação propõe um modelo matemático para o problema de dimensionamento de lotes encontrado na empresa representando os dois estágios de maneira integrada, cuja modelagem de ambos os estágios foi inspirada no CLSP (*Capacitated Lot Sizing Problem* – Problema de Dimensionamento de Lotes com Limitações de Capacidade). Para o segundo estágio, em decorrência da necessidade de um maior detalhamento na elaboração do plano de produção, adotou-se a representação utilizando a abordagem de subperíodos, inspirada em modelos do tipo GLSP (*General Lot Sizing and Scheduling Problem* - Problema Geral de Dimensionamento e Sequenciamento de Lotes, foi utilizada). A resolução do modelo matemático proposto fornece um plano de produção factível. O modelo matemático é resolvido utilizando o solver CPLEX versão 12.8. Na elaboração do modelo, para esta empresa (estudo de caso) foram considerados 74 itens e 20 períodos, com demanda específica para cada período, e, ainda, foram considerados 16 subperíodos a cada período do horizonte de planejamento. De acordo com os experimentos realizados em um exemplo (fictício) e testes posteriores utilizando dados reais da empresa estudo de caso, o

problema se resolve satisfatoriamente, obtendo planos de produção melhores em relação aos executados pela empresa, especialmente quando analisado o objetivo de redução de custos.

Palavras-chave: PCP; Problemas de dimensionamento de lotes; Otimização; Indústria de peças de borrachas, termoplásticos e poliuretano.

Bigoloti, P. R. M. **Approaches for the multi-stage lot-sizing problem found in a manufacturing company of special rubberized, thermoplastic, and polyurethane pieces.** 2021. (Mestre em Ciência e Tecnologia de Materiais) UNESP de Presidente Prudente, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Materiais (POSMAT), Presidente Prudente, 2021.

Abstract

This research approaches the multi-stage lot-sizing problem found in a manufacturing company of special rubberized, thermoplastic, and polyurethane pieces in which all the commercialized pieces are vulcanized. The analyzed company is located in the countryside of São Paulo state, has been working in the field for approximately 15 years, and it has an unique production line which its products undergo a variety of sequential activities during their production process: mold loading, press (vulcanizing and curing), mold unloading, deburring, heater (post curing), and hygienization. Carefully analyzing each activity during the process of elaborating the production plan, it was observed that some activities could be grouped without any detail and information loss, and in two different sequential stages. The first one is composed by the press stage (vulcanizing and curing). The second stage is the heater (post curing). The second stage only begins if the product has gone through all the activities that compose the first stage; thus, for the elaboration of an executable production plan, both stages need to be considered simultaneously. Therefore, this dissertation proposes a mathematical model to the lot-sizing problem found in the manufacturing company representing the two stages in an integrated manner which was inspired by the CLSP (Capacitated Lot Sizing Problem). For the second stage, however, in consequence of the need for a bigger detailing on the elaboration of production planning, it was adopted the representation using the approach of subperiods inspired by GLSP models (General Lot Sizing and Scheduling Problem), which were used. The resolution for the proposed mathematical model provides a feasible production planning. The mathematical model is solved using the 12.8 version CPLEX solver. In elaborating the model for this manufacturing company (case study) it was considered 74 items and 20 periods with a specific demand for each production period, and also considered 16 subperiods to each period of the planning horizon. According to the executed experiments in a (fictitious) example and in subsequent tests using real data from the case study company, the problem is satisfactorily solved obtaining better production planning in relation to those carried out by the company, especially when the analyzed goal is cost reduction.

Keywords: PCP; lot-sizing problems; Optimization; Manufacturing company of rubberized, thermoplastic, and polyurethane pieces.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Níveis hierárquicos PCP	2
Figura 2 – Classificação e estrutura intermolecular dos polímeros.....	6
Figura 3 – (a) Extração do látex da seringueira, (b) Estrutura química do poli(cis-1,4-isopreno)	8
Figura 4 – Tipos de Dieno (DCPD, ENB e 1,4 HD)	9
Figura 5 – Obtenção do NBR (copolimerização de butadieno e acrilonitrilo).....	10
Figura 6 – Estrutura geral de um poliuretano	11
Figura 7 – Cadeias elastoméricas nos estados não vulcanizado e vulcanizado.....	12
Figura 8 – Curva reométrica para um compósito de borracha natural	14
Figura 9 – Curva reométrica padrão	15
Figura 10 – Estruturas do produto (modelos multiestágios)	22
Figura 11 – Resumo das formulações presentes na literatura	25
Figura 12 – Etapas do processo	27
Figura 13 – Prensa Hidráulica P-400	28
Figura 14 – Máquina de rebarba	29
Figura 15 – Conjunto de peças de vedação	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Plano de Produção	39
Tabela 2 – Resultado encontrado para prensa – exemplo	40
Tabela 3 – Resultado encontrado para <i>setup</i> – exemplo	40
Tabela 4 – Resultado encontrado para estoque – exemplo	41
Tabela 5 – Resultado encontrado para estufa – exemplo	42
Tabela 6 – Produtos, custos e tempos	43
Tabela 7 – Resultado encontrado para prensa	45
Tabela 8 – Resultado encontrado <i>setup</i>	47
Tabela 9 – Resultado encontrado estoque	49
Tabela 10 – Resultado encontrado estufa	51
Tabela 11 – Resultado encontrado prensa	52
Tabela 12 – Resultado encontrado <i>setup</i>	54
Tabela 13 – Resultado encontrado estoque	57
Tabela 14 – Resultado encontrado estufa	59
Tabela 15 – Resultado compilado	61

LISTA DE SIGLAS E ABREVIACÕES

BN - Borracha Natural

CLSD – O problema de dimensionamento de lotes com limitações de capacidade com custos de instalação dependentes de sequência

CLSP - Problema de Dimensionamento de Lotes com limitação de capacidade

CSLP - Problema de dimensionamento contínuo do lote de instalação

DCPD - Diciclopentadieno

DLSP - Problema de Dimensionamento de Lotes Discreto

ELSP – Programação econômica de lotes

ENB - Etilideno-norborneno

EOQ – Quantidade de pedido econômico

EPDM - Borracha de etileno-propileno-dieno

EPM - Borracha de etileno-propileno

GLSP - Problema de Dimensionamento e Sequenciamento de Lotes Geral

MIP – Matriz de insumo-produto

NBR - borracha de nitrilo butadieno, também conhecido como borracha nitrílica

PCP – Planejamento e Controle da Produção

PDL - Problema de Dimensionamento de Lotes

PLSP - Problema de Dimensionamento de Lotes Proporcional

PMP – Plano mestre de Produção

PVC - Policloreto de polivinila

SBR - Borracha de Estireno Butadieno

SKU - Unidade de Manutenção de Estoque

UHMW - *Ultra high molecular weight polyethylene* - Polietileno de ultra alto peso molecular

VBA - *Visual Basic for Applications*

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
Introdução	1
1.1 Objetivos	4
1.2 Metodologia	4
1.3 Organização da dissertação	5
CAPÍTULO 2	6
Revisão de Literatura	6
2.1 Polímeros	6
2.2 Borracha Natural	7
2.3 EPDM.....	8
2.4 NBR	10
2.5 Termoplásticos.	10
2.6 Poliuretano.	11
2.7 Processos de cura	11
2.7.1 Vulcanização	12
2.8 Problema de dimensionamento de lotes	16
2.9 Dimensionamento de lotes monoestágios	16
2.10 Dimensionamento de lotes multiestágios	20
2.11 Sequenciamento da produção (<i>scheduling</i>)	23
2.12 Dimensionamento e sequenciamento de lotes de produção	23
CAPÍTULO 3	26
Descrição do problema	26
3.1 Processo de produção	27
3.1.1 Exemplos de produtos	30

3.2 Escopo do problema	31
3.2.1 Decisões de dimensionamento de lotes	33
3.2.2 Decisões de preparação (<i>setup</i>)	33
CAPÍTULO 4	34
Modelagem Matemática	34
4.1 Formulação matemática	36
4.2 Exemplo de aplicação do modelo	39
4.3 Dados para a aplicação prática do modelo	42
4.4 Aplicação do modelo na empresa	44
4.5 Método de Solução – CPLEX	59
4.6 Compilação dos dados	61
CAPÍTULO 5	63
Considerações Finais	63
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64

CAPÍTULO 1

Introdução

A globalização na economia mundial faz com que a distância entre os mercados dos países diminua drasticamente, como também, por consequência, aumente a competitividade durante a comercialização. A concorrência cada vez mais acirrada traz a necessidade de melhoria e da otimização das etapas envolvidas durante a produção, fazendo com que o Planejamento e Controle da Produção (PCP) seja um importante aliado na coordenação dos processos produtivos, administração dos recursos e insumos, com o objetivo de garantir a continuidade deste processo e principalmente atender de forma concisa a demanda de seus produtos. Segundo SLACK et al. (2009), o planejamento e controle da produção (PCP) visa o atendimento da demanda por meio de um gerenciamento de atividades pertinentes as operações produtivas.

O Planejamento e Controle da Produção é a atividade de tomada de decisões sobre onde, quanto, quando será realizada a produção e como será produzida. O PCP se torna imprescindível, possuindo a necessidade da realização de planos e controle para a execução de uma produção adequada com eficiência e eficácia. Logo, tem-se uma grande relevância para a prática de uma boa estratégia para tomada de decisões, pois para atingir seus objetivos e utilizar adequadamente seus recursos, as indústrias precisam planejar antecipadamente para atender os pedidos dos clientes nas datas programadas. (SLACK, CHAMBERS e JOHNSTON, 2009)

Há dois tipos de planejamento e programação, o da produção empurrada (ou sistema empurrado) e o da produção puxada (ou sistema puxado). No primeiro a produção é definida e se organiza o planejamento de cada item a ser produzido, assim sendo fornecido para cada processo somente o necessário, no momento ideal e na quantidade precisa; ela produz independentemente da demanda (a empresa empurra sua produção para o mercado), atuando de forma ativa. No sistema puxado de produção há estoques reguladores, no qual é predominante a existência de matéria-prima, produto em processo e produto acabado; a empresa produz de acordo com a demanda (é a demanda que determina o quanto a empresa vai produzir), adotando uma postura passiva. (PINHEIRO, 2016).

KARIMI et al. (2003) evidencia que o planejamento da produção é composto por decisões de longo, médio e curto prazos. TUBINO (2000) afirma que as atividades do PCP

são praticadas por três níveis hierárquicos, demonstrados na Figura 1 (Estratégico, Tático e Operacional) de planejamento e controle das atividades de um sistema de produção:

- O planejamento estratégico, onde está relacionado às políticas de longo prazo da empresa, o PCP participa da elaboração do Planejamento Estratégico da Produção, onde é determinado um Plano de Produção, com estimativas de venda e a disponibilidade de recursos financeiros e produtivos, sendo pouco detalhado.
- No planejamento tático, responsável pela elaboração dos planos de médio prazo para a produção, o PCP desenvolve o planejamento-mestre, obtendo o Plano-mestre de Produção (PMP), onde são assumidos compromissos de fabricação e montagem de bens e serviços.
- No nível operacional, onde são tratadas as decisões de dia a dia, determinados os programas de curto prazo de produção e executado o acompanhamento dos mesmos; o PCP realiza a Programação da Produção administrando estoque, sequenciamento, emissão e liberação das ordens de compra, bem como executa o acompanhamento e controla a produção.

Figura 1 – Níveis hierárquicos PCP.



Fonte: OLIVEIRA, 2008.

O presente trabalho aborda as principais decisões presentes no nível tático-operacional, utilizando um modelo matemático para representar o problema de dimensionamento de lotes de produção que vise otimizar as principais decisões envolvidas nestes níveis de PCP e, para a resolução do modelo, sendo utilizado um software de otimização; a solução do modelo matemático fornece um plano de produção para o problema em questão. Tal estudo é desenvolvido em uma empresa (estudo de caso) fabricante de peças especiais em Borrachas, Termoplásticos e Poliuretano, localizada no

interior do estado de São Paulo. Com mais de 15 anos de experiência no desenvolvimento e nacionalização de artefatos técnicos, na fabricação de peças em: NBR, SBR, EPDM, NEOPRENE, BUTIL, SILICONE, VITON, NYLON, PVC, UHMW, CELERON, PEEK, TEFLON®, POLIURETANO entre outros; e com os principais produtos: Anéis elásticos; Anéis *O'rings*; Arruelas; Acoplamentos; Batentes; Buchas; Gaxetas; Raspadores; Retentores; Lençóis; Luvas de Silicone (Solução para vazamento de pó); Placas, Tarugos; Vedadores; Tampão; Revestimentos, etc.

Portanto, a pesquisa apresenta um modelo de programação matemática, cuja resolução conta com o auxílio do solver de otimização CPLEX versão 12.8. São considerados coincidentemente o dimensionamento de lotes multiestágios da produção na fábrica em questão, buscando a minimização dos custos de produção. Esta abordagem é motivada visando as vantagens da otimização, na busca de soluções ótimas e decisões de planejamento integradas.

CAPÍTULO 5

Considerações Finais

No problema de dimensionamento de lotes encontrado na empresa que produz peças especiais em borrachas, termoplásticos e poliuretano, em estudo, localizada no interior do estado de São Paulo, com produção personalizada e puxada, o grande objetivo é encontrar um programa de produção para os processos de prensagem/vulcanização e estufagem/pós-cura integrando essas decisões.

O dimensionamento dos lotes pode-se considerar que é realizado pela área de PCP, enquanto o tempo de *setup* é uma atividade que será transferida para a produção, ou melhor responsável pela mesma. Há uma necessidade de enxergar essas atividades juntas, pois igualmente dependem de uma demanda e produção puxada (onde há a necessidade de uma área comercial muito presente e ativa), portanto se tratarem estes problemas de forma independente gera dificuldades para tornar a produção flexível às mudanças de mercado, pois dependem ainda da capacidade disponível para poderem atender os prazos de entrega.

A abordagem proposta neste trabalho considera o problema de forma integrada (dimensionamento de lotes com tempos de preparação de máquina), propondo um modelo matemático para representar as decisões e resolvendo-o com o auxílio do *software* de otimização CPLEX. Foram realizados experimentos considerando um exemplo fictício e duas aplicações em períodos diferentes ($t = 20$) onde considera-se mais tranquilo a produção, pois há a possibilidade de utilizar o mês todo para a execução do item e ($t=15$). Desta forma, o modelo se mostra apropriado para apoiar as decisões necessárias para a elaboração do plano de produção, sem inconvenientes constatados, pois o *solver* CPLEX resolveu o problema com muita rapidez, mesmo sendo considerado um problema razoavelmente grande, por considerar capacidades nas duas atividades (cura e pós-cura); e ainda a estufa depender completamente da atividade de prensar. Com a utilização da estufa somente em 4 dias em um período de 20 dias tem-se uma redução de 80% no custo da operação.

Duas perspectivas de trabalhos futuros pautam-se para este, o primeiro seria testar novos modelos nas atividades da empresa e com isso incorporar novas etapas aos métodos e a segunda perspectiva seria implementar algoritmos de forma a resolver o problema sem o auxílio do *solver*.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLAHVERDI, A., GUPTA, J. N. D. E ALDOWAISAN, T.. A Review of Scheduling Research Involving Setup Considerations. Omega, *International Journal of Management Science*, v. 27, p. 219-239. 1999.

ALMADA-LOBO, B., CLARK, A., GUIMARAES, L., FIGUEIRA, G., E AMORIM, P. Industrial insights into lot sizing and scheduling modelling. *Pesquisa Operacional*, 35:439 – 464. ISSN 0101-7438. 2015.

ALMEDER, C.; ALMADA-LOBO, B. Synchronisation of scarce resources for a parallel machine lot sizing problem, *International Journal of Production Research*, 49:7315- 7335, 2011.

ALVES, M. R. C. Estudo da borracha natural para utilização em períodos de entressafra num mesmo composto. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia Química. Universidade Estadual de Campinas, 2004.

APREM, A. S.; JOSEPH, K.; THOMAS, S. Recent Developments in Crosslinking of Elastomers. *Rubber Chemistry and Technology*, v. 78, n. 3, p. 458-488, 2005.

ARAÚJO, S. A.; ARENALES, M. N. Problema de dimensionamento de lotes monoestágio com restrição de capacidade: modelagem, método de resolução e resultados computacionais. *Pesquisa Operacional*, v. 20, n. 2, p. 287-306, 2000.

ARAÚJO, S. A.; ARENALES, M. N.; CLARK, A. R. Lot sizing and furnace scheduling in small foundries. *Computers and Operations Research*, v. 35, n. 3, p. 916–932, 2008.

ARENALES, M.; ARMENTANO, V.; MORABITO R.; YANASSE, H. *Pesquisa Operacional*. v. 8, p. 4; 206 – 218, 2007.

AKARTUNALI, K.; MILLER, A. J. A heuristic approach for big bucket multi-level production planning problems. *European Journal of Operational Research*, v. 193, n. 2, p. 396-411, 2009.

ATEIA, E.E; EL-NASHAR, D.E; RAMADAN, R; SHOKRY, M. F. Synthesis and Characterization of EPDM/Ferrite Nanocomposites. *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*. 2019

BALDO, T. A. Geração de Colunas para o Problema de Dimensionamento de Lotes de produção com Limitações de Capacidade. Dissertação de mestrado, Instituto de Ciências Matemáticas e Computação da Universidade de São Paulo (USP). 2009

BALDO, T. A. O problema integrado de dimensionamento e sequenciamento de lotes no processo de fabricação de cerveja: modelos e métodos de solução. 2014. Tese (Doutorado em Ciências – Ciências de Computação e Matemática Computacional) – Universidade de São Paulo, Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo, São Carlos.

BAHL, H.C.; RITZMAN, L.P. & GUPTA, J.N.D. Determining Lot Sizes and Resource Requirements: A Review. *Operational Research Society of America*, 35(3), 329-345. 1987

BARLOW, F. Rubber Compounding - Principles, Methods and Technics, Marcel Dekker, 1988.

BERRETA, R.E. Otimização do Planejamento da Produção em Sistemas Multiestágios. Tese de mestrado, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). 1993

BHATTACHARYA, A.; RAWLINS, J. W.; RAY, P. Polymer Grafting and Crosslinking. New Jersey, EUA: John Wiley & Sons, Inc., 2008.

BILLINGTON, P. J.; MCCLAIN, J. O.; THOMAS, L. J. Mathematical programming approaches to capacity-constrained mrp systems: Review, formulation and problem reduction. *Management Science*, v. 29, n. 10, p. 1126-1141, 1983.

BLAZEWICZ, J., DOMSCHKE, W.; PESCH, E. The Job Shop Scheduling Problem: conventional and new solution techniques, *European Journal of Operational Research*, v. 93, p. 1-33. 1996

CAMARGO, V.C.B., NAVARENHO, D. Dimensionamento de lotes em fundições com múltiplos fornos não-simultâneos. *Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, XLVIII SBPO*. 2016

CERCENA, R. Preparação, caracterização, propriedades mecânicas e térmicas de sistemas EPDM/CAULIM e EPDM/NANOCAULIM. 2013. Tese (Doutorado em Ciência de Engenharia de Materiais) - Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Santa Catarina, Paraná.

COFIL, K., WORBELAUER, M., MEYR, H., E TEMPELMEIER, H. Simultaneous lotsizing and scheduling problems: a classification and review of models. *OR Spectrum*, p. 1-64. ISSN 1436-6304. 2017

CLARK, A. R.; ARMENTANO, V. A. The application of valid inequalities to the multi-stage lot-sizing problem. *Computers e Operations Research*, v. 22, n. 7, p. 669-680, 1995.

CUNHA, B. G. Otimização no dimensionamento e sequenciamento de lotes de produção: estudo de caso em uma fábrica de blocos pré-moldados de concreto. *Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção – Pós-graduação em Engenharia de Produção) – Universidade Federal da Paraíba – UFPB, Paraíba, 2013.*

DALFOVO, M. S.; LANA, R. A.; SILVEIRA, A. Métodos quantitativos e qualitativos: um resgate teórico. *Revista Interdisciplinar Científica Aplicada. Blumenau-SC*. v.2, n.4, p.01-13, Sem II. 2008.

DREXL, A.; KIMMS, A. Lot sizing and scheduling — Survey and extensions. *European Journal of Operational Research*, v. 99, n. 2, p. 221-235, 1997. ISSN 03772217. Citado 6 vezes nas páginas 30, 31, 32, 33, 35 e 36.

ERLENKOTTER, D. Ford whitman harris and the economic order quantity model. *Operations Research*, v. 38, n. October 2018, p. 937-946, 1990.

FERREIRA, D.; CLARK, A. R.; ALMADA-LOBO, B.; MORABITO, R. Single-stage formulations for synchronised two-stage lot sizing and scheduling in soft drink production. *International Journal of Production Economics*, v. 136, n. 2, p. 255–265. 2012.

FURLAN, M. M. Abordagens para o problema de dimensionamento e sequenciamento da produção em indústrias integradas de papel e celulose. Tese de Doutorado, Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação – ICMC – USP, 2015.

FLEISCHMANN, B.; MEYR, H. The general lotsizing and scheduling problem, *Operations-Research-Spektrum*, 19:11-21, 1997.

GOUVEIA FILHO, M. D. Caracterização do sinal de emissão acústica proveniente da deformação axial em poço de visita de polietileno. 2015. 119 f. Dissertação (Mestrado em Ciências de Materiais) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.

HIRANOBE, C. T. Avaliação da densidade de ligações cruzadas da borracha natural reticulada em diferentes sistemas de vulcanização por meio de ensaios mecânicos. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Materiais), Universidade Estadual Paulista, Rosana-SP. 2020.

JANS, R.; DEGRAEVE, Z. Meta-heuristics for dynamic lot sizing: A review and comparison of solution approaches. *European Journal of Operational Research*, v. 177, n. 3, p. 1855 – 1875, 2007.

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

KELLER A. Z.; KAZAZI A. Just-in-Time Manufacturing Systems: A Literature Review. *Industrial Management & Data Systems*, Vol. 93 Issue: 7, pp.2-32, 1993.

LINDEMAYER, C. K. Estudo e avaliação de termoplásticos utilizados na confecção de órteses. Dissertação de mestrado. Programa de pós-graduação em Bioengenharia. Universidade do Vale do Paraíba, Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento. 2004.

LIU, J. et al. Investigation of aging behavior and mechanism of nitrile-butadiene rubber (NBR) in the accelerated thermal aging environment. *Polymer Testing*, v. 54, p.59- 66, set. 2016.

MANNE, A. S. Programming of economic lot sizes. *Management Science*, v. 4, n. 2, p. 115-135, 1958.

MANO, E.B.; MENDES, L.C. Introdução a Polímeros. 2º Ed. Rev. e Amp. São Paulo–SP. Editora Edgar Blucher, 2004.

MARIA, V. P. K. Estudo e caracterização do reforço proporcionado pelo carbonato de cálcio tratado com agente de acoplamento visando substituição parcial do negro de carbono em compósitos de borracha natural. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Materiais), Universidade Estadual Paulista, Rosana-SP. 2019.

MARTIN, Sandra Regina Scagliusi. Recuperação/reciclagem de compostos de borrachas butílica e halobutílica por meio de radiação ionizante. 2013. Tese de Doutorado. UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO São Paulo, 2013.

MARTINEZ, K. Y. P. Otimização do Planejamento e Programação da Produção na Indústria de Polpa Moldada. Tese de doutorado, Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR). 2018

MARTINS, Roberto A. Abordagens Quantitativa e Qualitativa. CAUCHICK, Paulo M. Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier: ABEPRO, 2012.

MERCÉ, C.; FONTAN, G. Mip-based heuristics for capacitated lotsizing problems. *International Journal of Production Economics*, v. 85, n. 1, p. 97-111, 2003.

MEYR, H. Simultaneous lotsizing and scheduling on parallel machines, *European Journal of Operational Research*, 139:277-292, 2002.

MORTON, M. Rubber Technology, 2nd Edition, Van Nostrand Reinhold, New York, 1989.

NETTO, R. T. Maximização da produção em uma fábrica de sorvetes utilizando uma abordagem integrada de dimensionamento e sequenciamento de lotes. Dissertação de mestrado, Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia Campus de Bauru, 2018.

OLIVEIRA, D. P. R. Planejamento Estratégico: conceitos, metodologia e práticas. 25 ed. São Paulo. Atlas, 2008.

PAIVA, F. F.G. Compósito de borracha natural com incorporação de bagaço da cana-de-açúcar. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual Paulista (Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Materiais) Presidente Prudente, 2018.

PINEDO, M. L. Scheduling: theory, algorithms, and systems, Prentice Hall. 1995.

PINEDO, M. L. Scheduling: Theory, Algorithms, and Systems. [s.l.] Springer Publishing Company, Incorporated, 2008.

PINHEIRO, N. M. G. Avaliação de Desempenho da Produção Puxada, Empurrada e Híbrida Através de Modelo de Simulação: Um Estudo de Caso em Indústria Gráfica. Curitiba. 2016.

POCHET, Y.; WOLSEY, L. A. Production planning by mixed integer programming. Editora Springer Series Operations Research and Financial Engineering. 2006.

SAHLING, F.; BUSCHKUHL, L.; TEMPELMEIER, H.; HELBER, S. Solving a multi-level capacitated lot sizing problem with multi-period setup carry-over via a fix-and-optimize heuristic. *Computers e Operational Research*, v. 36, n. 9, p. 2546-2553, 2009.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHSTON, R. Administração da produção. Editora Atlas, 2009.

SANTOS, R. J. Obtenção de compósitos de borracha natural com resíduo industrial de couro reticulados com diferentes peróxidos. Tese de doutorado. Universidade Estadual Paulista (Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Materiais) Presidente Prudente, 2014.

SOARES, M. S. Síntese e caracterização de espumas de poliuretano para imobilização de células íntegras e aplicação na síntese de biodiesel. Dissertação de mestrado. Programa de pós-graduação em Engenharia Química na área de concentração : processos catalíticos e biocatalítico. Escola de engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo, 2012.

TEMPELMEIER, H.; DERSTROFF, M. A lagrangean-based heuristic for dynamic multi-level multi-item constrained lot sizing with setup times. *Management Science*, v. 42, n. 5, p. 738-757, 1996.

TOLEDO, C. F. M.; KIMMS, A.; FRANÇA, P. M.; MORABITO, R. A Mathematical Model for the Synchronized and Integrated Two-Level Lot Sizing and Scheduling Problem. *Journal of Operational Research Society*, p. 1–23, 2006. Citado na página 39.

TOLEDO, C. F. M.; FRANÇA, P. M.; MORABITO, R.; KIMMS, A. Um modelo de Otimização para o Problema Integrado de Dimensionamento de Lotes e Programação da Produção em Fábricas de Refrigerantes. *Pesquisa Operacional*, 2007.

TOSO, E. A. V. Dimensionamento e sequenciamento de lotes de produção na indústria de suplementos para nutrição animal. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2008.

TUBINO, D. F. Manual de planejamento e controle da produção. 2 ed. São Paulo: Atlas, 2000.

TRIGEIRO, W.W.; THOMAS, L.J. & MCCLAIN, J.O. Capacitated Lot Sizing With Setup Times. *Management Science*, 35(3), 353-366. 1989

VEIGA, V. D.A. Influência do inibidor de pré-vulcanização nas propriedades de composições de borracha natural não vulcanizadas. Tese de Doutorado. Programa de pós-graduação em engenharia e ciência dos materiais. Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2019.

WAGNER, H. M.; WHITIN, T. M. Dynamic version of the economic lot size model. *Management Science*, v.5, n.1, p.89-96, 1958.

WIGHT, O. W.; Manufacturing resource planning: MRP II. Unlocking America's productivity potential, 1984.

ZANCANELA, Daniela Cervelle et al. Natural rubber latex membranes incorporated with three different types of propolis: Physical-chemistry and antimicrobial behaviours. *Materials Science and Engineering: C*, v. 97, p. 576-582, 2019.