



Encontro Internacional
de Produção Científica
24 a 26 de outubro de 2017

ISBN 978-85-459-0773-2

MODELAGEM MATEMÁTICA PARA MINIMIZAÇÃO DE CUSTOS EM LAVANDERIA TÊXTIL

Juliana Adrian Emidio¹; Esdras Penêdo de Carvalho²; Mauro Antonio da Silva Sá Ravagnani³

¹Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, Maringá-PR. Bolsista CNPq. juliana_adrian@hotmail.com.

²Orientador, Prof. Dr, Universidade Estadual de Maringá, Maringá-PR. epcarvalho@uem.br.

³Coorientador, Prof. Dr, Universidade Estadual de Maringá, Maringá-PR. mauro.ravagnani@hotmail.com

RESUMO

As indústrias têxteis consomem grandes quantidades de recursos importantes como a água e energia em seus processos, os quais, também representam importantes fatores de custos, onde melhorias em suas atividades produtivas podem ser alcançadas com o correto planejamento da produção. O objetivo do presente estudo foi desenvolver um modelo matemático para a minimização dos custos de produção na etapa de lavagem em lavanderias têxteis, por meio de um problema de dimensionamento e sequenciamento de lotes de produção. Para tanto, o problema foi formulado como um modelo de Programação Linear Inteira Mista (MILP) e otimizado na plataforma GAMS. Por meio dos resultados apresentados pelo *software* foi possível concluir que o modelo desenvolvido é adequado para o tratamento deste tipo de problema e pode ser utilizado como uma ferramenta de auxílio no processo de tomada de decisão no planejamento e controle da produção (PCP).

PALAVRAS-CHAVE: Otimização; Produção; Vestuário.

1 INTRODUÇÃO

A indústria têxtil é uma das cadeias produtivas mais extensas da indústria de transformação. Seu processo é composto por um grande número de subsetores, que abordam todo o ciclo de produção, começando na produção das matérias-primas (fibras) até seus semiprocessados (fios, tecidos e tricô com seus processos de acabamento) e produtos finais (têxteis domésticos, vestuário e têxteis para uso industrial). É um setor de grande importância para a economia de diversos países, abordando operações de pequena e grande escala em todo mundo (VALH, 2011).

A cadeia produtiva têxtil é muito diversificada e, em geral, é constituída pelas fiações, tecelagens e malharias, confecções e indústrias de beneficiamento têxtil como de tingimento, estamparias e lavanderias. As lavanderias têxteis trabalham para melhorar a qualidade e criar efeitos diferenciados nas peças confeccionadas, por meio de diversas etapas de acabamento como desengomagem, amaciamento, tingimento, envelhecimento, alvejamento, dentre outros (BASTIAN e ROCCO, 2009). Entretanto, fazem uso de grandes quantidades de recursos como água, produtos químicos e energia.

Conforme Gomes et al. (2014), tendo em vista o aumento dos produtos asiáticos no mercado mundial, o que influenciou a competição global dos produtores de têxteis e confeccionados, para tornar mais competitivos seus produtos, as empresas deste setor necessitam reduzir seus custos de produção por meio de redução no consumo de insumos, energia, redução da taxa de produção de rejeitos, entre outros.

Poldi (2007) comenta que, com os progressos alcançados na área computacional e também por motivos econômicos, diversas organizações têm demonstrado o interesse em tornar seus processos produtivos mais eficientes, o que influencia o surgimento de pesquisas acadêmicas de modelos de otimização para o controle e planejamento de sistemas produtivos.

Segundo Himmelblau (2006), a otimização de processo consiste em uma ferramenta, apoiada por computadores, tecnologia e ferramentas matemáticas que fornecem uma eficiência e eficácia organizacional em todos os níveis de gestão. A otimização pode indicar as atividades de maior produtividade, bem como, os preços mais competitivos.



Desta forma, buscou-se neste trabalho a otimização de um modelo matemático para a minimização de custos em lavanderias têxteis, apoiando as decisões tomadas no planejamento e controle da produção (PCP).

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho utiliza uma abordagem de pesquisa quantitativa de natureza aplicada, pois está baseado na criação de um modelo quantitativo de planejamento da produção, descrito por um problema de otimização de dimensionamento e sequenciamento de lotes. Como método de pesquisa foi utilizado a modelagem e simulação.

O planejamento metodológico adotado nesta pesquisa pode ser resumido pelo método proposto por Law e Kelton (1991), típico de Pesquisa Operacional, apresentado na Figura 1 a seguir.

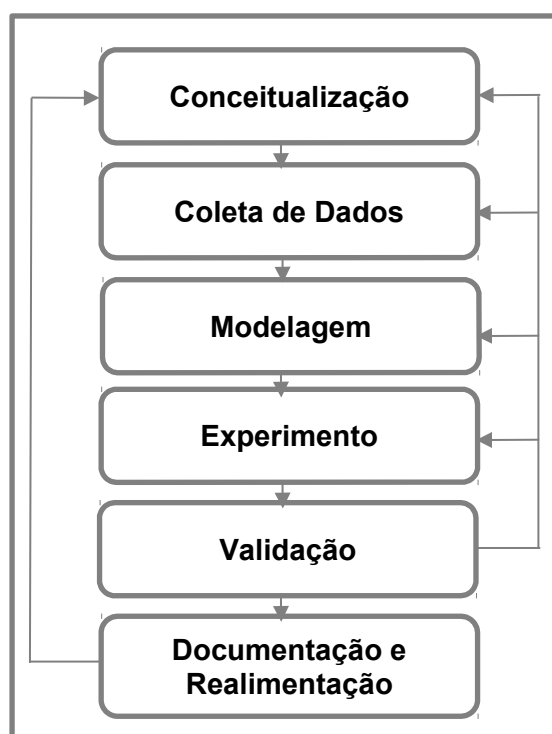


Figura 1- Planejamento metodológico
Fonte- Adaptada de Law e Kelton, 1991

O problema estudado neste trabalho foi o de dimensionamento e sequenciamento de lotes de produção na etapa de lavagem em lavanderia de beneficiamento têxtil, embasado no problema estudado por Oliveira (2013). O problema proposto nesta pesquisa consiste em distribuir os lotes de 4 tipos distintos de roupas nas máquinas de lavagem, de diferentes capacidades e consumo energético, de forma que atenda às restrições de disponibilidade de peças, capacidade dos equipamentos e demanda de cada produto, objetivando a minimização dos custos com mão-de-obra, energia, água e custos fixos de equipamento.

Para a modelagem do problema e a distribuição dos lotes foi considerado um período de produção de 21 horas, um ciclo de produção com duração de 60 min (incluído tempo de setup), 12 máquinas lavadoras e capacidade de produção de 21086 peças. Como restrições do modelo tem-se a capacidade de cada máquina, com uma utilização mínima de 50% e máxima de 75%, a demanda de cada produto e que lotes já atribuídos a cada máquina influenciam nos demais, onde em cada



lote não pode ser processado tipos mistos de peças, ou seja, a cada ciclo, em cada máquina, somente um tipo de roupa é processada. Abaixo são apresentados os índices, parâmetros e variáveis do modelo desenvolvido.

Índices:

- R: Peças de roupas: Sem distinção entre os tipos de roupas (R= roupa);
- j: Processo de Lavagem: (j=1, 2, ... ,12);
- t: Período: Períodos de planejamento (t= 1, 2, ..., 21);
- i: Produto: Tipos de peças processadas (i= calça, jaqueta, saia, calça social);

Parâmetros:

- Energia_Custo ji: Custo de energia para processar o item tipo i no processo j;
- MOD_Custo ji: Custo de mão-de-obra do setor de lavagem para processar o item tipo i no processo j;
- Agua_Custo ji: Custo de água para processar o item i no processo j;
- Fixo_Custo ji: Custo fixo para processar o item i no processo j;
- Max_dia i: Número máximo de itens tipo i processados diariamente;
- Min_dia i: Número mínimo de itens tipo i processados diariamente;
- QTDE_max ji: Limite máximo de itens tipo i processados pelo processo j;
- QTDE_min ji: Limite mínimo de itens tipo i processados pelo processo j.

Variáveis:

- Disp Rt: Disponibilidade de roupas R para ser processada no período t;
- RD Rt: Decisão de quantidade de roupa R processada por período t;
- Custos t: Custos de processo para determinado período t;
- Custos_proc j: Custos do processo j para todo período analisado;
- X ijt: Variável de decisão de quantidade de item tipo i processado pelo processo j no período t;
- QTDE it: Quantidade de itens tipo i processado em determinado período t;
- QTDE_proc i: Quantidade total de item tipo i processado em todo período analisado;
- QTDE_total t: Quantidade total de itens processados no período t;
- P ijt: Variável binária de escolha de processo. Decisão de processar (P ijt =1) ou não processar (P ijt = 0) o item i no processo j no período t.

A seguir é apresentada a função objetivo (1) e as restrições do modelo.

$$\text{Min } Z = \sum_i \sum_j \sum_t \text{Energia}_{\text{Custo}ji} * X_{ijt} + \sum_i \sum_j \sum_t \text{MOD}_{\text{Custo}ji} * X_{ijt} + \sum_i \sum_j \sum_t \text{Agua}_{\text{Custo}ji} * X_{ijt} + \sum_i \sum_j \sum_t \text{Fixo}_{\text{Custo}ji} * P_{ijt} \quad (1)$$

Sujeito às restrições:

$$\sum_R RD_{Rt} = \sum_j \sum_i X_{ijt} \quad (2)$$

$$\text{Disp}_{Rt} = \text{Disp}_{R,t-1} - RD_{R,t-1} \geq RD_{Rt} \quad (3)$$

$$RD_{Rt} \leq \text{Disp}_{Rt} \quad (4)$$

$$\sum_R \text{Disp}_{R1} = \sum_i \sum_j \sum_t X_{ijt} \quad (5)$$

$$\sum_j \sum_t X_{ijt} \leq \text{Max}_{\text{dia}i} \quad (6)$$

$$\sum_j \sum_t X_{ijt} \geq \text{Min}_{\text{dia}i} \quad (7)$$

$$X_{ijt} \leq \text{QTDE}_{\text{max}ji} * P_{ijt} \quad (8)$$



$$X_{ijt} \geq QTDE_{minji} * P_{ijt} \quad (9)$$

$$QTDE_{it} = \sum_j X_{ijt} \quad (10)$$

$$QTDE_{proci} = \sum_t QTDE_{it} \quad (11)$$

$$QTDE_{totalt} = \sum_i QTDE_{it} \quad (12)$$

$$\sum_i P_{ijt} = 1 \quad (13)$$

$$Custos_t = \sum_i \sum_j Energia_{Custoji} * X_{ijt} + \sum_i \sum_j MOD_{Custoji} * X_{ijt} + \sum_i \sum_j Agua_{Custoji} * X_{ijt} + \sum_i \sum_j Fixo_{Custoji} * P_{ijt} \quad (14)$$

$$Custos_{procj} = \sum_i \sum_t Energia_{Custoji} * X_{ijt} + \sum_i \sum_t MOD_{Custoji} * X_{ijt} + \sum_i \sum_t Agua_{Custoji} * X_{ijt} + \sum_i \sum_t Fixo_{Custoji} * P_{ijt} \quad (15)$$

$RD Rt \geq 0$; $Disp Rt \geq 0$; $Custos t \geq 0$; $Custos_proc j \geq 0$; $X_{ijt} \geq 0$; $QTDE it \geq 0$; $QTDE_proc i \geq 0$; $QTDE_total t \geq 0$; $P_{ijt} \in \{0,1\}$.

A função objetivo, equação (1), tem como critério de otimização a minimização do somatório dos custos de energia, mão-de-obra, água e custos fixos associados aos equipamentos de lavagem. A restrição (2) diz respeito à compatibilidade entre a quantidade de peças processadas por período t e todas as peças i processadas em todos os processos j neste período. A restrição (3) diz respeito à disponibilidade de peças a serem processadas. A restrição de balanço (4) impõe que a quantidade de roupa processada no período t seja menor ou igual à quantidade disponível para este período. A restrição de consumo total (5) garante que todas as peças disponíveis no início do primeiro período sejam processadas. Em (6) e (7) é garantido que as quantidades de cada tipo de peça i processada diariamente será menor que a capacidade máxima e superior a uma demanda mínima. As restrições (8) e (9) impedem que sejam processadas quantidades superiores à capacidade de cada equipamento j em processar i e que o equipamento tenha um mínimo de utilização. As restrições (10), (11) e (12) dizem respeito à quantidade de peças do tipo i processada no período t , à quantidade total de peças do tipo i processadas em todo período e ao total de peças produzidas no período t , respectivamente. A restrição (13) assegura que a cada hora só será processada um tipo de roupa i no equipamento j . As restrições (14) e (15) definem os custos totais do período t e os custos do processo j .

Para a otimização do modelo foram utilizados dados de um caso industrial, típico de lavanderia, elaborado para a pesquisa. O modelo proposto foi implementado e executado no software GAMS 24.7.4 com o solver CPLEX, utilizando um computador com sistema operacional Windows 10, processador Intel® Core i5-4200U 1.6GHz e com 6GB de memória RAM.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a implementação do modelo foram consideradas máquinas de lavagem industrial de têxteis com diferentes capacidades e consumo energético, de forma que o problema consistiu em distribuir os lotes dos 4 tipos distintos de roupas nos equipamentos, atendendo às restrições de disponibilidade de peças, capacidade dos equipamentos e demanda de cada produto. A Tabela 1 apresenta a capacidade de cada lavadora em quilogramas e a quantidade máxima de peças suportada, considerando a utilização de 75% do equipamento.

Tabela 1: Distribuição das capacidades das lavadoras

Equipamento	Capacidade (Kg)	Capacidade (Kg) 75%	Calça	Jaqueta	Saia	Calça Social
Lavadora1	30	23	35	35	64	50
Lavadora2	30	23	35	35	64	50



Encontro Internacional de Produção Científica

24 a 26 de outubro de 2017

ISBN 978-85-459-0773-2

Lavadora3	30	23	35	35	64	50
Lavadora4	30	23	35	35	64	50
Lavadora5	50	38	58	58	107	83
Lavadora6	50	38	58	58	107	83
Lavadora7	100	75	115	115	214	167
Lavadora8	100	75	115	115	214	167
Lavadora9	100	75	115	115	214	167
Lavadora10	100	75	115	115	214	167
Lavadora11	100	75	115	115	214	167
Lavadora12	200	150	231	231	429	333

Fonte: Elaborado pelos autores, 2017

Para a determinação da capacidade de quantidade de peças em cada equipamento foi utilizada uma massa média de cada um dos tipos de roupas. A Tabela 2 apresenta estes valores.

Tabela 2: Massa média de cada tipo de roupa

Peso médio por tipo de roupa em Kg			
Calça	Jaqueta	Saia	Calça Social
0,650	0,650	0,350	0,450

Fonte: Oliveira, 2013

O modelo matemático desenvolvido e executado no software GAMS, apresentou 2.483 equações, 2.201 variáveis e 1.008 variáveis binárias, com um tempo de processamento de 0.547 segundos, encontrando uma solução ótima de R\$ 8646,00. As distribuições dos lotes de peças para as primeiras 8 horas de produção são apresentadas na Tabela 3 e 4 a seguir.

Tabela 3: Distribuição dos lotes de produção para as quatro primeiras horas

Peça	Equipamento	Período			
		h1	h2	h3	h4
calça	Lavadora 1				23
calça	Lavadora 2				23
calça	Lavadora 3	23	23		
calça	Lavadora 5	38	38		38
calça	Lavadora 6	38	38	38	38
calça	Lavadora 7	115	115	115	115
calça	Lavadora 8	115	115	115	115
calça	Lavadora 9	115	115	115	115
calça	Lavadora 10	115	115	115	115
calça	Lavadora 11	115	115	115	115
calça	Lavadora 12	231	231	231	231
jaqueta	Lavadora 5			38	
saia	Lavadora 1	43		43	
saia	Lavadora 2	43	43	43	
saia	Lavadora 3			43	43
saia	Lavadora 4	43	43	43	43
calça social	Lavadora 1		33		

Fonte: Elaborado pelos autores, 2017



Tabela 4: Distribuição dos lotes de produção para o período entre h5 e h8

Peça	Equipamento	Período			
		h5	h6	h7	h8
calça	Lavadora 2	23			
calça	Lavadora 3	23			
calça	Lavadora 5	38	38	38	38
calça	Lavadora 6	38	38	38	38
calça	Lavadora 7	115	115	115	115
calça	Lavadora 8	115	115	115	115
calça	Lavadora 9	115	115	115	115
calça	Lavadora 10	115	115	115	115
calça	Lavadora 11	115	115	115	115
calça	Lavadora 12	231	231	231	231
saia	Lavadora 1	43	43	43	43
saia	Lavadora 2		43		43
saia	Lavadora 3		43	43	43
saia	Lavadora 4	43	43	43	43
calça social	Lavadora 2			33	

Fonte: Elaborado pelos autores, 2017

Com os resultados obtidos no *software* é possível perceber que o modelo apresenta a distribuição dos lotes de forma que sejam utilizadas as capacidades máximas dos equipamentos, ou próximas destas, resultando em um melhor aproveitamento do equipamento.

A seguir, na Tabela 5 são apresentados os custos obtidos para cada equipamento de lavagem no período analisado de 21 horas.

Tabela 5: Resultado dos custos dos equipamentos otimizados pelo modelo

Equipamento	Custos \$
Lavadora 1	289,00
Lavadora 2	289,00
Lavadora 3	289,00
Lavadora 4	290,00
Lavadora 5	453,00
Lavadora 6	453,00
Lavadora 7	1055,00
Lavadora 8	1078,00
Lavadora 9	1072,00
Lavadora 10	1072,00
Lavadora 11	1059,00
Lavadora 12	1246,00

Fonte: Elaborado pelos autores, 2017

Os custos de cada equipamento mostraram-se condizentes com suas capacidades de processamento, onde aqueles que apresentam maior capacidade de produção por ciclo demonstram um maior custo.

Na Tabela 6 são apresentadas as quantidades de cada tipo de roupa obtidas para serem processadas nas lavadoras.



Tabela 6: Resultado da quantidade de roupa processada

Tipo de roupa	Quantidade calculada pelo modelo
Calça	17834
Saia	2484
Jaqueta	446
Calça social	322

Fonte: Elaborado pelos autores, 2017

As quantidades de peças calculadas pelo modelo são as quantidades de roupas que devem ser processadas em um dia de produção, respeitando as restrições de capacidade máxima e demanda mínima.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Concluiu-se que o modelo desenvolvido é capaz de encontrar uma solução ótima para o problema de lavanderia têxtil estudado, respeitando todas as restrições impostas pelo modelo e, desta forma, minimizando os custos de produção e distribuindo os lotes de peças de modo a melhorar o uso das capacidades dos equipamentos. Assim, ele se mostra um modelo promissor para auxiliar as decisões tomadas pelo PCP em indústrias deste setor.

REFERÊNCIAS

BASTIAN, E. Y. O.; ROCCO, J. L. S. **Guia técnico ambiental da indústria têxtil**. Sinditêxtil, p. 99, 2009.

GOMES, G. et al. Indústria têxtil de Santa Catarina e sua capacidade inovadora: estudo sob a perspectiva da eficiência, eficácia, custos e melhoria de processos. **RAI – Revista de Administração e Inovação**, v. 11, p. 273–294, 2014.

HIMMELBLAU, D.M. **Optimization of Chemical Processes**. Editora McGraw-Hill Book Company. Singapura, 2006.

LAW, A. M.; KELTON, W. D. **Simulation modeling and analysis**. 2. ed. New York: McGraw-Hill, 1991.

OLIVEIRA, E. A. de. **Otimização de Processos em Indústria Têxtil**. 2013. 143 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química)- Departamento de Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2013.

POLDI, K. C. **O problema de corte de estoque multiperíodo**. 2007. 109 f. Tese (Doutorado em Ciências de Computação e Matemática Computacional). Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação- ICMS- USP, São Carlos, 2007.

VALH, J. V. et al. **4.20- Water in the Textile Industry**. Treatise on Water Science, v. 4, p. 685-706, 2011.