

33º ENANGRAD  
Área Temática: Estudos Organizacionais

APLICAÇÃO DE UM MODELO DE PESQUISA OPERACIONAL PARA O  
APRIMORAMENTO DO SEQUENCIAMENTO DA PRODUÇÃO DE UMA FÁBRICA  
DE FIOS DE ITAJAÍ

## RESUMO

Este estudo consiste na aplicação de um modelo de pesquisa operacional atrelado à ferramenta Solver no sequenciamento do processo de encapamento de fios elétricos de uma fábrica de fios em Itajaí, buscando solucionar o problema de sequenciamento do processo e facilitar o trabalho do programador que lida com diversas variáveis ao dispor as ordens nos centros de trabalho. Para tanto foram selecionadas as restrições do processo de encapamento de maior interferência no tempo de preparação da máquina, sendo estas o dimensional (largura e espessura) do fio e o tipo de isolamento. Foram então atribuídas médias de tempos de preparação de acordo com cada restrição, sendo obtidas a partir do histórico de produção de um ano. Essas médias foram utilizadas para o Solver encontrar uma programação mais adequada para o período selecionado. A solução obtida diminuiu em 25,29% o tempo de preparação.

**PALAVRAS-CHAVE.** Sequenciamento, restrição, modelagem.

## ABSTRACT

This study consists of the application of an operational research model linked to the Solver tool in the sequencing of the electrical wire tapping process of a wire factory in Itajaí, seeking to solve the process sequencing problem and facilitate the work of the programmer who deals with several variables when arranging orders in work centers. For that, the restrictions of the tapping process with the greatest interference in the setup time of the machine were selected, these being the dimensional (width and thickness) of the wire and the type of insulation. Preparation time averages were then assigned according to each restriction, being obtained from the production history of one year. These averages were used for Solver to find a more suitable schedule for the selected period. The solution obtained reduced the preparation time by 25.29%.

**KEYWORDS.** Sequencing. Restriction. Modeling.

## 1. Introdução

Este trabalho teve como foco o estudo do sequenciamento no processo de encapamento de fios elétricos de uma fábrica de fios em Itajaí, objetivando encontrar as restrições críticas do processo que causam dificuldades para o setor de planejamento e controle de produção da fábrica ao realizar o ordenamento das tarefas de produção nos centros de trabalho. A partir deste estudo então foi proposto um modelo matemático baseado em pesquisa operacional, a fim de facilitar a programação da produção.

Para Slack et al. (2018), o propósito do planejamento e controle da produção (PCP) está em assegurar que os processos produtivos ocorram de forma eficaz e eficiente, fazendo com que os produtos e serviços fornecidos estejam de acordo com as especificações dos clientes. Moreira (1998) ressalta que os objetivos do PCP são: garantir que as máquinas e pessoas operem com os níveis ideais de produtividade e com o melhor aproveitamento dos recursos disponíveis; minimizar estoques e custos operacionais e manter e melhorar o nível de atendimento dos clientes. Em outros termos, o PCP deverá definir o que será produzido, onde será produzido, qual a quantidade a ser produzida e quando será produzido.

Segundo Slack et al. (2018), existem quatro atividades do curto prazo sobrepostas no planejamento e controle da produção, que são:

- Carregamento: refere-se à quantidade de serviço alocado para um centro de trabalho analisando as horas disponíveis que a máquina ou equipamento tem para operação;
- Sequenciamento: condiz a qual ordem de produção deve ser seguida analisando o grau de prioridade e as restrições existentes dentro de um processo a fim de atingir um conjunto de objetivos de desempenho;
- Programação: que consiste em alocar no tempo, as atividades, obedecendo ao sequenciamento definido ao conjunto de restrição existente no centro de trabalho;
- Controle: que condiz em coletar e analisar as informações de desempenho de uma máquina, equipamento ou centro de trabalho, com a finalidade de monitorar, e se possível agir de forma corretiva quando existir um desvio de produção ou não seguimento da programação;

A fabricação de fios é um processo complexo, que envolve um grande número de restrições que interferem diretamente no fluxo produtivo. De acordo com Amarante e Garcia (2016), com o desenvolvimento de diversos modelos de equipamentos elétricos com características distintas, há a necessidade da utilização de fios com especificações de acordo com o tipo e uso do equipamento, ou seja, com diferentes características também. Para os autores, essas especificações podem ser de acordo com: material (cobre e alumínio), forma (circular e retangular), dimensão (n possibilidades), isolamento (fio nu, esmaltado, encapado), composição (fio simples, cabo geminado e cabo transposto) e quantidade (de 30 kg até 10.000 kg).

Fazer a programação da produção em um ambiente tão variado torna-se então um desafio pela dificuldade de conciliar as restrições do sistema e definir a alocação ideal das ordens de produção nos centros de trabalho, objetivando uma melhor utilização do tempo de disponibilidade das máquinas e dos recursos produtivos. A pesquisa operacional é uma importante aliada para resolver problemas de

programação com a utilização de modelos matemáticos que simplificam o processo e entregam resultados mais eficazes que os meios mais comuns utilizados nas empresas.

## 2. Análise do processo de fabricação de fios

Este trabalho foi realizado a partir da análise do sequenciamento do processo de encapamento de uma fábrica de fios da cidade de Itajaí. O método atual empregado para o sequenciamento das ordens de produção nos centros de trabalho é feito pelo setor de PCP da fábrica, que faz o programa de acordo com o nível de criticidade de cada ordem, seja por data, especificação do material, prioridade do cliente, e outros.

O processo de fabricação de fios do estudo divide em:

- **Laminação:** aqui há o início da formação de uma das principais características do fio, o dimensional (largura e espessura). Segundo Cetlin e Helman (2005), o processo de laminação consiste na passagem do fio por dois cilindros que possuem a rotação necessária para diminuir a área da secção transversal da peça. Para os autores, um material dificilmente passará apenas uma vez nos cilindros de laminação, sendo necessário que a peça tenha sucessivos passes dentro do equipamento.
- **Trefilação:** esta divide-se em duas etapas durante o processo, uma antes da laminação (trefilação do vergalhão) destinada a diminuir o material do vergalhão para as dimensões necessárias para o próximo processo e outra depois da laminação (trefilação retangular) que tem por objetivo deixar o dimensional do fio com um formato preciso, ou seja, com especificações mais críticas para fabricação do produto final. De acordo com Amarante e Garcia (2016), no processo de trefilação, o fio é conduzido por ferramentas chamadas fieiras, que apresentam um furo no meio com as dimensões finais do material.
- **Encapamento:** pode ser dividido em quatro etapas que ocorrem em sequência na máquina. A primeira é o desbobinamento onde o carretel de fio nu trefilado é inserido para alimentar o equipamento para o processo. Logo em seguida na segunda etapa, o fio é recozido, recebendo um tratamento de alta temperatura que o deixa com as propriedades mecânicas necessárias. Em terceiro, o fio então é encapado dentro de cabeçotes em que as hastes fazem um sentido giratório contínuo para que toda superfície do fio seja isolada da forma correta. Por último, na quarta etapa, o fio é transposto nas bobinas especificadas nas ordens de produção.

O processo de fabricação de fios analisado utiliza como condutores apenas fios retangulares de cobre laminados, trefilados e não-esmaltados. Já no caso dos materiais isolantes (fitas), são considerados dois tipos que podem ser tanto utilizados em par ou em trio, formando quatro formas diferentes de isolamento, por quantidade e por tipo de isolante. No estudo também é considerado a especificação por fios não isolados, sendo apenas transposto nas bobinas especificadas na ordem de produção.

A principal matéria-prima para o processo de fabricação de fios elétricos são os vergalhões. De acordo com a norma NBR 5471 (1986), os vergalhões são “produtos metálicos de secção maciça circular, destinados à produção de fios”. Esses materiais, em sua maioria de cobre ou alumínio, são recebidos dos fornecedores em formato rudimentar, necessitando passarem pelos processos de laminação e

trefilação para que fiquem no formato ideal (largura e espessura dentro do especificado na ordem de produção) para que assim sejam encaminhados para o encapamento.

### 3. Estudo de caso

Para coletar as informações necessárias para a elaboração do trabalho e desenvolvimento do modelo de otimização, foi realizado um estudo de caso dentro da empresa em conjunto com o setor de planejamento e controle da produção e o pessoal da área técnica de engenharia.

O sequenciamento feito atualmente na fábrica segue as necessidades e tempos do processo de encapamento por ser considerado o gargalo de produção, sendo por esse motivo o processo de enfoque deste trabalho. Por ser o processo em que o produto final é fabricado, o encapamento demanda maior atenção. Nos outros processos, laminação e trefilação, o próprio operador faz o sequenciamento das ordens de produção, seguindo o que ele determinar de maior prioridade para o encapamento.

Foram realizados encontros semanais na empresa onde foram feitas discussões acerca das informações necessárias para a realização do estudo e visitas às máquinas de encapamento para a observação do processo. Sendo então feita uma análise da fabricação de fios com foco no encapamento e suas restrições críticas, assim como também do método atual de sequenciamento das ordens de produção no encapamento feito pelo programador.

Também serviram para obtenção de dados de produção um histórico de pedidos de um ano de produção obtido a partir do sistema MRP da fábrica e um histórico do sistema de gerenciamento de chão de fábrica que detalha todo o processo de fabricação das ordens e que serviu para o conhecimento de como foi feito o sequenciamento dessas ordens nas máquinas. Para que as informações obtidas do processo de fabricação de fios e suas restrições ficassem mais fáceis de serem trabalhadas, estas foram organizadas em uma planilha de cálculo de processo e um fluxograma de processo.

### 4. Análise dos dados coletados

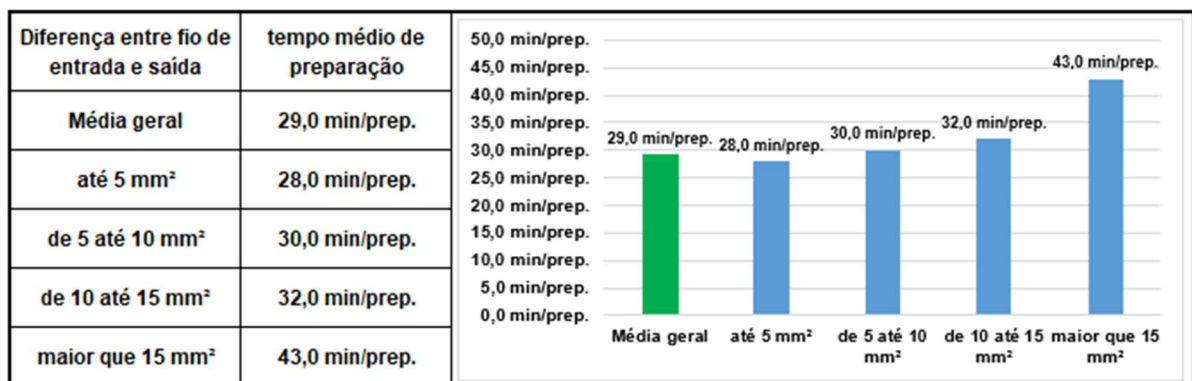
Para otimizar o tempo total de produção e melhorar o sequenciamento das ordens, o foco provou-se ser na diminuição do tempo de preparação das máquinas (setup), levando em conta que o tempo de processamento será o mesmo ainda que as ordens sejam sequenciadas de uma forma mais bem planejada. Foi trabalhado com a hipótese de que a otimização dos tempos de setup da máquina melhoraria o desempenho do sequenciamento das ordens de produção pois será na preparação da máquina onde as restrições e características distintas das ordens mais interferirão no tempo total de produção e na correta formulação do sequenciamento.

As principais restrições que interferem no tempo de preparação da máquina no processo de encapamento são o dimensional do fio e o tipo de isolamento. Com relação ao dimensional, existem uma grande variedade, transitando entre os diferentes tamanhos de largura e espessura de fios disponíveis na fábrica. Já no caso do isolamento, no processo do estudo pode haver até cinco alternativas variando entre a quantidade e tipo de isolante: NU (sem isolamento), N2FX, N3FX, N2FY (o N significa "fio nu", o número é a quantidade de fitas e FX e FY, os tipos de fitas).

Com base nos dados coletados foi realizado uma análise de como os tempos de preparação variavam levando em consideração as duas restrições apresentadas. O sistema de chão de fábrica monitora todo o processo de fabricação do fio e para cada parada da máquina, este cronometra o tempo exato e atribui um evento a essa parada. A partir dos relatórios desse sistema foram obtidos os tempos de preparação de um ano, sendo então utilizados para conciliar as restrições e descobrir uma forma de trabalhar com elas.

Para o dimensional, como são duas variáveis (largura e espessura) que não apresentam uma constância entre si, podendo transitar entre os diversos tamanhos disponíveis na fábrica, optou-se em uni-las, multiplicando-as e formando a secção transversal do fio (Figura 1).

**Figura 1** – Avaliação da alteração do tempo de preparação considerando a variação dimensional entre o fio de entrada e saída.



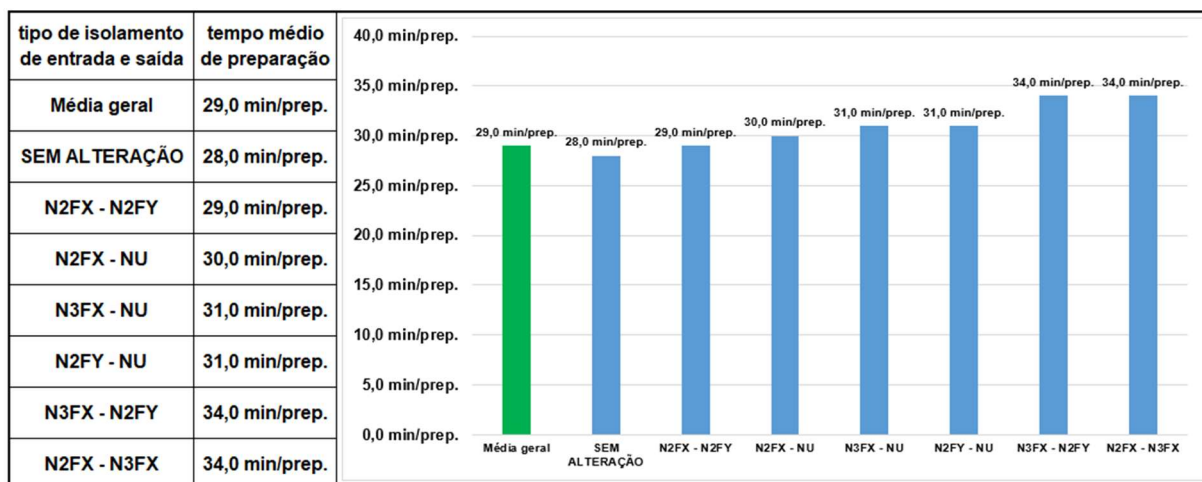
Fonte: Autor (2022).

Para avaliar a variação tanto na largura como na espessura do fio, opta-se em unificar a variação dimensional em secção transversal ( $L \times E = A \text{ mm}^2$ ), assim considerando a diferença entre o área do fio de entrada e do fio de saída, marca-se a variação dimensional ocorrida na preparação.

Exemplo: fio de entrada:  $5 \times 3 = 15$ , fio de saída:  $4,5 \times 2 = 9$ , fazendo a diferença entre as duas secções encontra-se o valor de 6 mm<sup>2</sup>, concluindo-se então que essa troca de material terá 30 minutos de preparação de acordo com as estatísticas de dimensional. A ordem do fio de entrada e saída não interfere no tempo de preparação, no caso do exemplo se trocar os fios de posição o resultado da diferença será o mesmo, porém negativo, entretanto como se trata de uma estatística, esse valor será considerado como positivo.

No caso do isolamento, a tarefa é mais simples por existirem poucas variáveis, são elas: NU, N2FX, N3FX, N2FY (Figura 2). Porém há algumas observações a serem feitas acerca desta restrição: o tipo mais comum de isolamento é o N2FX, podendo haver meses com apenas ele sendo produzido; o N3FX e N2FY não recebem muitos pedidos durante o ano, havendo pouco histórico de produção desses tipos. O fio NU é muito comum, porém como é um fio sem isolamento pode ser produzido em grande parte dos centros de trabalho.

**Figura 2 – Avaliação da alteração do tempo de preparação considerando a mudança do tipo de isolamento de entrada e saída.**



Fonte: Autor (2022).

Para avaliar os tempos de preparação de acordo com o isolamento foram utilizados os históricos existentes de alternância entre um tipo e outro. Quando não há alteração no tipo de isolamento o tempo é menor e quando mais aumenta a quantidade de fitas, maior é o tempo. O tipo Y é um isolante mais sensível que o X, então seu tempo de preparação geralmente é maior. A ordem dos isolantes de saída e entrada não interfere no tempo de preparação, ou seja, o tempo de preparação do N2FX para o N2FY é o mesmo do N2FY para o N2FX.

Um adendo muito importante a ser considerado é que quando essas duas restrições, dimensional e isolamento, são as mesmas na troca de uma ordem para a outra, o tempo de preparação zera, pois o operador não necessita fazer nenhuma alteração na máquina. Em alguns casos havendo apenas a mudança da bobina de saída ou do tamanho do lote.

### 5. Aplicando o modelo com a ferramenta

Para operar a ferramenta com as informações necessárias acerca das restrições foi utilizada uma programação de uma semana do histórico de produção com treze ordens fabricadas em uma máquina. A partir dessas informações foram elaboradas duas tabelas cruzadas (Tabelas 1 e 2) com os tempos de preparação de acordo com cada restrição e suas especificações.

**Tabela 1 – Tempos de preparação de acordo com o tipo de isolamento.**

DIMENSIONAL	8,48	13,40	11,20	5,31	21,11	60,00	8,48	22,37	11,87	20,00	8,55	4,24	8,48
8,48	28	28	28	28	32	43	28	32	28	32	28	28	28
13,40	28	28	28	30	30	43	28	30	28	30	28	30	28
11,20	28	28	28	30	30	43	28	32	28	30	28	30	28
5,31	28	30	30	28	43	43	28	43	30	32	28	28	28
21,11	28	30	30	43	28	43	32	28	30	28	32	43	32
60,00	32	43	43	43	43	28	43	43	43	43	43	43	43
8,48	28	28	28	28	32	43	28	32	28	32	28	28	28
22,37	32	30	32	43	28	43	32	28	32	28	32	43	32
11,87	28	28	28	30	30	43	28	32	28	30	28	30	28
20,00	32	30	30	32	28	43	32	28	30	28	32	43	32
8,55	28	28	28	28	32	43	28	32	28	32	28	28	28
4,24	28	30	30	28	43	43	28	43	30	43	28	28	28
8,48	28	28	28	28	32	43	28	32	28	32	28	28	28

Índice

- Até 5  28
- De 5 até 10  30
- De 10 até 15  32
- Maior que 15  43

Fonte: Autor (2022).

**Tabela 2** – Tempos de preparação de acordo com o dimensional.

ISOLAMENTO	NU	N2FX	N2FX	N2FX	N3FX	NU	NU	N3FX	N2FX	N2FY	N2FX	N2FX	NU
NU	28	30	30	30	31	28	28	31	30	31	30	30	28
N2FX	30	28	28	28	34	30	30	34	28	29	28	28	30
N2FX	30	28	28	28	34	30	30	34	28	29	28	28	30
N2FX	30	28	28	28	34	30	30	34	28	29	28	28	30
N3FX	31	34	34	34	28	31	31	28	34	34	34	34	31
NU	28	30	30	30	31	28	28	31	30	31	30	30	28
NU	28	30	30	30	31	28	28	31	30	31	30	30	28
N3FX	31	34	34	34	28	31	31	28	34	34	34	34	31
N2FX	30	28	28	28	34	30	30	34	28	29	28	28	30
N2FY	31	29	29	29	34	31	31	34	29	28	29	29	31
N2FX	30	28	28	28	34	30	30	34	28	29	28	28	30
N2FX	30	28	28	28	34	30	30	34	28	29	28	28	30
NU	28	30	30	30	31	28	28	31	30	31	30	30	28

índice

SEM ALTERAÇÃO 28

N2FX - N2FY 29

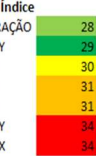
N2FX - NU 30

N3FX - NU 31

N2FY - NU 31

N3FX - N2FY 34

N2FX - N3FX 34




Fonte: Autor (2022).

As tabelas 1 e 2 demonstram os tempos de preparação que resultam dos cruzamentos das restrições das treze ordens de produção do período selecionado, por isolamento e dimensional respectivamente. No caso do isolamento o tempo de preparação altera quando alterna de um tipo para o outro, para o dimensional, os tempos são designados de acordo com a diferença das secções do fio de entrada com o de saída (mesmo se essa diferença for negativa, ou seja, passar de um fio menor para um maior, esse valor vai ser considerado positivo).

A partir dessas duas tabelas foi montada uma terceira (Tabela 3) com a função de integrá-las para que esse cruzamento seja feito por ordem. Assim comparando cada bloco correspondente entre as duas, foi escolhido o maior tempo de preparação contido.

**Tabela 3** – Tempos de preparação por ordem de produção.

ORDEM	Ordem 1	Ordem 2	Ordem 3	Ordem 4	Ordem 5	Ordem 6	Ordem 7	Ordem 8	Ordem 9	Ordem 10	Ordem 11	Ordem 12	Ordem 13
Ordem 1	0	30	30	30	32	43	0	32	30	32	30	30	0
Ordem 2	30	0	28	30	34	43	30	34	28	30	28	30	30
Ordem 3	30	28	0	30	34	43	30	34	28	30	28	30	30
Ordem 4	30	30	30	0	43	43	30	43	30	32	28	28	30
Ordem 5	31	34	34	43	0	43	32	28	34	34	34	43	32
Ordem 6	32	43	43	43	43	0	43	43	43	43	43	43	43
Ordem 7	0	30	30	30	32	43	0	32	30	32	30	30	0
Ordem 8	32	34	34	43	28	43	32	0	34	34	34	43	32
Ordem 9	30	28	28	30	34	43	30	34	0	30	28	30	30
Ordem 10	32	30	30	32	34	43	32	34	30	0	32	43	32
Ordem 11	30	28	28	28	34	43	30	34	28	32	0	28	30
Ordem 12	30	30	30	28	43	43	30	43	30	43	28	0	30
Ordem 13	0	30	30	30	32	43	0	32	30	32	30	30	0



Fonte: Autor (2022).

A tabela 3 demonstra a integração entre as duas tabelas cruzadas das restrições, formando assim uma tabela cruzada por ordem considerando o maior tempo de preparação das restrições. Algumas observações dessa tabela são: quando uma ordem cruza consigo mesma, o tempo de preparação é nulo (zeros transversais); quando se cruzam duas ordens com as duas restrições semelhantes (caso das ordens 1,7 e 13 da tabela) o tempo de preparação é igual a zero porque não é feita nenhuma alteração na máquina.



A ferramenta utilizada para a construções do modelo matemático foi o Solver do Excel atrelado ao problema do caixeiro-viajante (PCV), que de acordo com Taha (2008) consiste em descobrir o círculo (fechado) mais curto em uma situação de n destinos, sendo necessário que todos os destinos sejam alcançados exatamente uma vez, retornando no final ao destino inicial. Com a tabela pronta, fez-se necessário apenas adicionar um tempo estipulado para uma preparação inicial pelo fato de as tabelas apenas considerarem preparações de uma ordem para outra, deixando a primeira sem um ponto de partida, o tempo escolhido foi o mínimo para as duas restrições, 28 minutos. Um ponto a ser também considerado é que foi negligenciado o tempo de retorno que fecha o circuito do PCV, pois não se precisa voltar ao ponto inicial do caixeiro.

## 5. Resultados e discursões

O modelo ofereceu uma programação mais intuitiva e um sequenciamento mais condizente com o processo, levando em consideração suas principais restrições e conciliando-as para a redução dos tempos de preparação da máquina. Sendo obtida a solução ótima para as preparações realizadas no período foi então possível fazer a comparação entre as duas programações (Tabela 4).

**Tabela 4** – Comparação entre as programações.

Programação Realizada	Tempo de Preparação	Lead Time	Programação Ótima	Tempo de Preparação	Lead Time
Ordem 1	28	1012	Ordem 6	28	31
Ordem 2	30	512	Ordem 1	32	1016
Ordem 3	28	995	Ordem 7	0	961
Ordem 4	30	283	Ordem 13	0	961
Ordem 5	43	166	Ordem 12	30	157
Ordem 6	43	46	Ordem 4	28	281
Ordem 7	43	1004	Ordem 11	28	693
Ordem 8	32	161	Ordem 9	28	175
Ordem 9	34	181	Ordem 2	28	510
Ordem 10	30	216	Ordem 3	28	995
Ordem 11	32	697	Ordem 10	30	216
Ordem 12	28	155	Ordem 8	34	163
Ordem 13	30	991	Ordem 5	28	151
<b>Total</b>	<b>431</b>	<b>6419</b>	<b>Total</b>	<b>322</b>	<b>6310</b>
<b>Total em horas</b>	<b>7,18</b>		<b>Total em horas</b>	<b>5,37</b>	
			<b>Total</b>	<b>%</b>	
	<b>Diminuição da preparação</b>			109	25,29
	<b>Diminuição do lead time</b>			109	1,70

Fonte: Autor (2022).

Com modelo obteve-se uma diminuição em 25,29% do tempo total de preparações do período provando ser mais eficiente que o método utilizado atualmente na fábrica. Com a planilha de cálculo de processo foi possível obter o lead time total de cada ordem nas duas programações, comparando o valor total do período obteve-se uma diminuição de 1,7% do lead time. As preparações zeradas foram resultado da intercalação de ordens com as restrições iguais.

Com os resultados obtidos com o modelo foi possível determinar as reduções de custos por períodos mais longos para o novo sequenciamento (Tabela 5).

**Tabela 5 – Cálculos de redução de custos.**

Cálculo de Resultado: Ganho Potencial		Cálculo de Resultado: Ganho Real	
Custo hora homem	R\$26,85 /hora	Custo de compra externa do fio	R\$62,18 /kg
Tempo de preparação no período avaliado	7,18 hrs de preparação	Custo de fabricação interna do fio	R\$58,81 /kg
Tempo de preparação no período avaliado com sequenciamento proposto	5,37 hrs de preparação	Produtividade média das encapadoras	99 kg/hora
Taxa de redução	25%	Tempo de preparação no período avaliado	7,18 hrs de preparação
Tempo de preparação anual	745,10 hrs de preparação	Tempo de preparação no período avaliado com sequenciamento proposto	5,37 hrs de preparação
Redução no tempo de preparação anual com sequenciamento proposto	187,83 hrs de preparação	Taxa de redução	25%
Ganho potencial com redução de tempo de preparação	R\$5.043,28 /ano	Tempo de preparação anual	745,10 hrs de preparação
		Redução no tempo de preparação anual com sequenciamento proposto	187,83 hrs de preparação
		Ganho real com aumento de produção	R\$62.666,26 /ano
Redução de custo total para fábrica			
R\$67.709,54 /ano			

Fonte: Autor (2022).

A tabela 5 demonstra a redução de custos com o novo sequenciamento. O cálculo é determinado pela própria empresa e leva em consideração os conceitos de ganho potencial e ganho real. Para a empresa a definição de ganho potencial está no aproveitamento da mão de obra, pois ao considerar que esta já está alocada, se as atividades sem valor agregado porém necessárias, como a preparação, forem de maior eficiência, há a possibilidade de alocar essa mão de obra para outra atividade e agregar maior valor ao produto. A fórmula do ganho potencial é:

Ganho Potencial = Redução de tempo \* Custo de mão de obra

Já no caso do ganho real, a empresa leva em consideração a sua capacidade interna de produção de fio sem precisar optar por um fornecedor externo para suprir suas necessidades do componente. Com o aumento da produtividade consequentemente a capacidade interna também será maior, reduzindo a necessidade de um intermédio externo com custos superiores a produção interna. O cálculo do ganho real é:

Ganho Real = Redução de tempo \* Produção/h \* (Custo de compra do fio - Custo de fabricação do fio)

O ganho com a redução do tempo de preparação e realocação de mão de obra para outras atividades foi equivalente a R\$ 5.043,28 por ano, já o ganho com o aumento da produção e menor necessidade de compra do componente externo foi equivalente a R\$ 62.666,26 por ano, dando um total de R\$ 67.709,54 por ano de redução de custos para a fábrica.

## 6. Conclusões

Neste trabalho foi proposto a elaboração e aplicação de um modelo de pesquisa operacional para resolver o problema de sequenciamento de uma fábrica de fios de

Itajaí. O modelo foi obtido a partir da ferramenta Solver atrelado ao problema do caixeiro viajante.

O modelo mostrou-se ser mais eficiente que o método atual utilizado na fábrica ao oferecer uma programação rápida e mais condizendo com as restrições do processo de encapamento (dimensional e isolamento), minimizando o tempo de preparação e aumentando a eficiência produtiva, o que conseqüentemente agregara mais valor ao produto. E como o estudo foi pautado em apenas um processo de encapamento, o novo modelo de sequenciamento pode ser abrangido para os outros disponíveis na fábrica, resultando em ganhos ainda maiores.

O estudo demonstrou haver outros benefícios do novo sequenciamento à fábrica além da redução do tempo de preparação. Esses benefícios são: possibilidade de realocação da mão de obra para outras atividades, menor necessidade de compra de produto externo por um preço maior que a produção interna, melhor atendimento de ordens no prazo do cliente, menor necessidade horas extras.

Outro benefício importante a ser considerado é a redução da sucata de material gerada com a preparação. Como o modelo considera as restrições ao fazer a programação, aproximando ordens de fios com dimensional e isolamento semelhantes ou até mesmo iguais, além do tempo minimizado, o material utilizado para a troca de uma ordem para outra também será menor ou nenhum em casos de ordens com as restrições iguais.

#### Referências

AMARANTE, Cleiton; GARCIA, Douglas Stefani. Para onde vai este material: Um estudo de ensino evidenciando a influência da organização do layout na estratégia de redução de custo. Itajaí: UNIVALI, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5471: Condutores Elétricos. Rio de Janeiro. 1986.

CETLIN, Paulo Roberto; HELMAN, Horacio. Fundamentos da conformação mecânica dos metais. 2 ed. São Paulo: Artliber, 2005.

MOREIRA, Daniel Augusto. Introdução a Administração da produção e operações. São Paulo: Pioneira, 1998.

SLACK, Nigel; BRANDON-JONES, Alistair; JOHNSTON, Robert. Administração da produção. 8 ed. São Paulo: Atlas, 2018.

TAHA, Hamdy A. Pesquisa operacional: uma visão geral. 8 ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.