



## **ANÁLISE DE CAPACIDADE POR MEIO DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL: UM ESTUDO DE CASO EM UMA INDÚSTRIA DE CABOS E CONDUTORES ELÉTRICOS**

### **CAPACITY ANALYSIS BY COMPUTATIONAL SIMULATION: A CASE STUDY IN AN INDUSTRY OF CABLES AND ELECTRICAL CONDUCTORS**

Marcela da Costa Assunção (eng.marcela@live.com, Faculdade de Tecnologia Área 1, Bahia, Brasil)  
Av. Luiz Viana, nº 3172, Imbuí, Salvador (BA), Brasil, CEP 41720-200

Diego Lemos Ferreira (diegolemosferreira@gmail.com, Faculdade de Tecnologia Área 1, Bahia, Brasil)

**Resumo:** *O objetivo deste artigo foi analisar a capacidade produtiva de uma indústria de cabos e condutores elétricos, identificar os gargalos do processo e analisar os efeitos da reativação de uma linha de produção do processo de trefilação 8 fios que estaria inativa, com o intuito de melhorar o fluxo do processo. A metodologia utilizada foi a pesquisa bibliográfica, documental e, para análise do sistema, foi utilizando um software de simulação computacional. Na pesquisa documental foram coletados os modelos e tempos produtivos reais para parametrização do sistema no software. Como resultado, foi identificado que a reativação da linha de trefilação 8 fios melhora a utilização da capacidade disponível e efetiva da fábrica e melhora a questão falta de filamentos (insumos) produzidos por esta etapa do processo. Foi possível identificar também ajustes necessários nas etapas de produção para que seja possível aumentar sua capacidade sem necessidade de compras de novos equipamentos no curto prazo.*

**Palavras-chave:** Balanceamento de linhas; Gargalos da produção; Modelagem computacional; Indústria de cabos; Arena.

**Abstract:** *The objective of this article was to analyze the productive capacity of an industry of cables and electrical conductors, to identify the bottlenecks of the process and to analyze the effects of the reactivation of a production line of the wire drawing process that would be inactive with the intention of improving the process flow. The methodology used was the bibliographical, documentary research and, for analysis of the system, was using a computer simulation software. In the documentary research, the actual production models and times for parameterization of the system in the software were collected. As a result, it was identified that the reactivation of the 8-wire drawing line improves the utilization of the available and effective capacity of the plant and improves the issue of the lack of filaments (inputs) produced by this process step. It was also possible to identify necessary adjustments in the production stages so that it is possible to increase its capacity without the need to purchase new equipment in the short term.*

**Key-words:** Line balancing; Production bottlenecks; Computational modeling; Cable industry; Arena.



## 1. Introdução

O estudo foi realizado em uma Indústria do segmento de cabos e condutores elétricos atuando a mais de 10 anos no mercado. Na unidade são produzidos aproximadamente 2000 tipos de produto acabado por mês sendo classificados em 10 famílias de produtos distintos. A seção nominal de um condutor elétrico é determinada pela norma da ABNT NBR NM 280, da Associação Brasileira de Normas Técnicas Norma Brasileira Norma Mercosul de nº 280 que se refere a Cabos condutores elétricos (ABNT, 2011). Essa classificação é feita de acordo com a estrutura de produto, seção nominal, seu tipo e isolamento. Os condutores elétricos são utilizados para transportar energia elétrica de um ponto para outro ponto dentro de um aparelho ou circuito. A seção ou a “espessura” de um cabo condutor depende da quantidade de eletricidade que ele terá que suportar de acordo a sua aplicação.

A unidade produtiva possui basicamente 3 etapas de processo: trefilação, encordoamento e extrusão. O processo de trefilação tem como matéria prima o cobre, que consiste na tração, alongamento e recozimento de filamentos de cobre de quatro tipos de seção que atendem a NBR NM 280 (ABNT, 2011). O processo de encordoamento tem como matéria prima os filamentos processados na trefilação e consiste na reunião e torção dos filamentos originados da trefilação ou veias oriundas da extrusão, de acordo com o seu tipo de corda (se flexível ou rígida) e a sua respectiva seção. O processo de extrusão é a etapa final do fluxo de produção. As cordas de cobre são revestidas de termoplástico *High Module HEPR* (HEPR) ou Policloreto de vinila (PVC), conforme sua tabela construtiva, em cabos unipolar ou multipolar, nas seções 0,50 à 95 mm<sup>2</sup> em diferentes cores de cobertura, seja de condutores internos ou da cobertura final.

A ausência de uma segunda linha de trefilação tem causado um maior tempo de espera para a entrada de produção de alguns tipos de filamentos na única linha de trefilação ativa gerando falta de insumos para as linhas posteriores do processo e atrasos de atendimento a pedidos. Diante disso, observou-se a necessidade de realizar uma análise da capacidade disponível/efetiva das linhas de produção através de uma simulação. Tendo em vista melhorar o fluxo de processo, o artigo buscou simular a linha de trefilação 14 fios produzindo filamentos



em paralelo a uma linha de trefilação 8 fios que estaria inativa. Esta simulação teve o intuito de verificar se a reativação da linha melhoraria o problema de atendimento de forma balanceada aos diversos tipos de família dos produtos produzidos pela unidade, de forma a maximizar a utilização da capacidade produtiva e minimizar os tempos de espera para processamento e atendimento aos pedidos. Para isso, o objetivo da pesquisa foi o de analisar a capacidade de produção de uma indústria e condutores elétricos por meio da simulação computacional levando em consideração a reativação da trefiladora Multifilar de 8 fios para verificar se há melhoria no fluxo de processo e atendimento a demanda após a reativação.

## 2. Discussão teórica

De acordo com Corrêa (2012), a capacidade produtiva é definida como o volume máximo potencial de uma atividade/produto que pode ser atingido por uma unidade produtiva, não devendo ser considerados os níveis de saída que um curto intervalo de tempo. Grande parte das unidades de negócio que processam fluxos e possui alguma restrição de capacidade de recursos estão sujeitas a filas de espera, seja ela de materiais, pessoas ou informações. O gerenciamento do fluxo, da capacidade e das filas que podem ser formadas por ventura é fundamental na determinação do nível de serviço que uma unidade produtiva oferece. O principal objetivo de uma unidade produtiva é atender habilmente a sua demanda. A capacidade desta unidade define o potencial de execução das atividades produtivas, podendo obter os efeitos de decisões sobre a capacidade produtiva a curto, a médio e longo prazo.

Nesse sentido, Moreira (2012) afirma que a capacidade de uma unidade produtiva é quantidade máxima de produtos e/ou serviços que podem ser produzidos, em um tempo determinado. A diversidade de uma demanda/produtos pode reduzir a capacidade, pois constantemente as máquinas ficam paradas para troca e preparações de máquinas entre um produto e outro. Para o autor, a capacidade tem um grande impacto sobre a aptidão em atender a sua demanda. Deste modo, é necessário compreender a relevância da sua análise.

A análise da capacidade produtiva possui caráter exploratório, permitindo tomadas de decisões que demandem um maior tempo e que só se tornam efetivas se planejadas e



implantadas antecipadamente (TUBINO, 2006). Para isso, é preciso fazer um balanceamento dos recursos produtivos atendendo a demanda de forma eficaz. Ainda de acordo com este autor, é essencial a verificação dos recursos disponíveis e previstos. Se os mesmos não forem suficientes para atender a demanda da organização, novos recursos precisarão ser planejados ou deve haver uma redução de vendas compatível com o nível de produção. Assim, é preciso compreender a diferença entre capacidade disponível e capacidade efetiva.

Apesar da breve semelhança, existem grandes diferenças entre a capacidade disponível e efetiva de uma linha de produção. Para Peinado e Graeml (2007), capacidade disponível é a quantidade de produção máxima de um processo durante a sua jornada de trabalho disponível. Ainda sobre isso, Slack (2009) define a capacidade efetiva: em a capacidade disponível de determinada linha de produção, considerando os tempos de paradas e setups, previamente planejadas ou inerentes ao processo. Por isto, essas diferenças precisam ser bem conhecidas e consideradas durante as tomadas de decisão.

Segundo Malhotra (2012), quatro passos são necessários e auxiliam gestores na tomada de decisões relacionadas a capacidade de produção: (a) levantamento das necessidades; (b) identificar as lacunas entre necessidade e capacidade disponível; (c) desenvolver alternativas para eliminar lacunas ou gargalos; (d) avaliar alternativas.

Complementarmente, este autor afirma que o gargalo é considerado um tipo de restrição relacionado a ausência de capacidade, podendo ser chamado de recurso restritivo de capacidade (RRC). O gargalo é definido pelo autor como um recurso que a sua capacidade é o fator limitante da competência da organização para atender ao mix de produtos ou flutuações da demanda. E constituem um processo, etapa ou estação de trabalho, cuja a sua capacidade seja menor que a sua demanda ou necessidade ou que possui um maior tempo de atravessamento.

Desta forma, a taxa de utilização de uma linha de produção não deve chegar próximo a 100 por cento, embora por vezes pode ocorrer nos processos gargalo. É interessante para a empresa obter uma reserva de capacidade que pode amortecer os efeitos de picos de demanda ou indisponibilidade temporárias não planejadas de uma linha ou equipamento, bem como paradas não programadas. Antunes et al. (2008) simplifica esta teoria defendendo que, os



gargalos são recursos ou processos que possuem a capacidade disponível menor do que a necessária para atendimento da sua demanda. Uma das suas principais características é que eles são mutáveis, ou seja, realizando melhoria em um processo gargalo, pode fazer outra etapa se tornar gargalo.

Por outro lado, uma capacidade exorbitante indica que um alto valor foi investido em uma operação e será desta forma subutilizada, com baixos níveis de retorno sobre o capital envolvido. Em contrapartida, a falta de capacidade produtiva indica que a demanda não será atendida devidamente, gerando atrasos, reduzindo consideravelmente os níveis de serviço e de atendimento, impactando negativamente a percepção dos clientes e a disposição dos mesmos para uma compra futura. É importante que um planejador de capacidade não verifique apenas suas operações de forma teórica. É necessário considerar cenários reais e utilizar o conhecimento adquirido de desempenho passado da operação, em relação a sua utilização e eficiência, pesando sempre a possível necessidade e conveniência de aumentar os níveis de utilização e eficiência (CORRÊA, 2012).

Em alguns casos, a capacidade produtiva pode ser aumentada por meio de uso de horas extras. Porém, neste caso, é possível obter um aumento de capacidade produtiva apenas por um curto período. Sendo assim, na maioria das vezes esse tipo de aumento não pode ser sustentado por períodos maiores sem comprometer o desempenho dos sistemas de operação. Desta forma, as decisões sobre a expansão ou não da capacidade produtiva requer antecedência. Pois, trabalhar muito próximo do limite da capacidade, principalmente em sistemas sequenciais os tornam recursos gargalos, limitando os processos em sua totalidade.

Expandir a capacidade de recursos altera a capacidade e fluxo do processo como um todo. Outra questão a se levar em consideração é o momento do aumento de capacidade. Existem diferentes políticas para o aumento da capacidade. Na definição destas políticas, é importante obedecer a critérios estratégicos sobre a forma que a empresa compete ou quer competir no mercado (CORRÊA, 2012).

No que se refere a definição destas políticas, Malhotra (2012) e Corrêa (2012) afirmam que existem dois principais tipos de política ou estratégia para a tomada de decisão sobre o

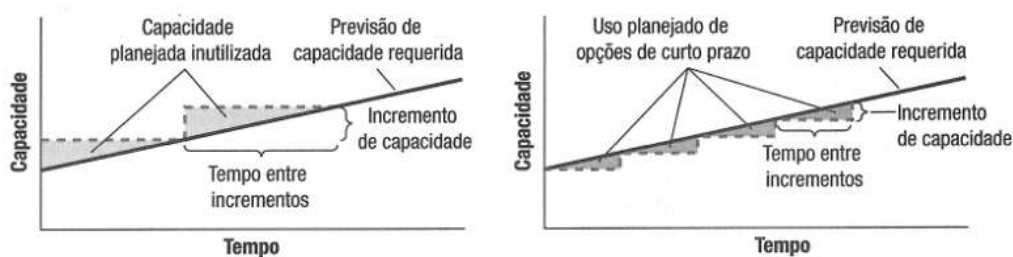


momento do aumento da capacidade: (a) a política em que a capacidade se antecipa à demanda ou estratégia expansionista (b) a política em que a capacidade segue a demanda ou estratégia de esperar para ver (figura 1).

Ao adotar a política em que a capacidade segue a demanda, a empresa pode trabalhar com certo nível de ociosidade em períodos de baixa demanda, porém em compensação o nível de serviço pode ser melhor, principalmente em relação aos tempos de atendimento e ter um melhor desempenho competitivo.

Na política em que a capacidade segue a demanda, por um lado existe a conveniência econômica de postergar os investimentos e por outro trabalhar muito próximo do limite de capacidade pode penalizar o nível de serviço oferecido aos clientes, principalmente em períodos de aumento de demanda e variações de Mix. O risco de que os clientes não incluam mais a empresa em suas próximas decisões de compra, correndo o risco de perda de venda e de clientes que por vezes pode ser irreversível.

Figura 1 – Tipos de política ou estratégia para o momento de aumento de capacidade.



Fonte: Malhotra, (2012), p. 225.

Independente de qual seja a política estratégica dos incrementos de capacidade, é de suma importância ter uma visão futura das necessidades de capacidade, considerando possíveis flutuações do Mix da demanda de produtos (cíclicas, sazonais ou não). Habitualmente, as políticas de alteração de capacidade necessitam da identificação dos setores em que a alteração pode proporcionar mais benefício para todo o sistema produtivo. A identificação se torna mais fácil em sistemas sequenciais, pois o gargalo nesse tipo de sistema limita toda a capacidade dos demais processos. Uma das ferramentas mais utilizadas para a tomada de decisão de alteração

Recebido 30/08/2018; Aceito 04/11/2019



da capacidade produtiva são cálculos e modelos de simulação (CORRÊA, 2012; JATOBÁ et al., 2017; ROCHA et al., 2016).

De acordo com Harrel et al (2000), simulação reproduz um sistema real, testando mudanças através da modelagem em um computador, que permite avaliar melhorias de desempenho de um determinado processo ou sistema, permitindo estudar diversas condições sem riscos físicos e elevados custos.

Sob o mesmo ponto de vista, Malhotra (2012) define que simulação é a ação de reproduzir um sistema e o seu comportamento, usando uma modelação que descreve seus processos, podendo ser usado para o estudo de solução para diversos tipos de problema, medindo os efeitos de mudanças sobre o perfil operacional. A simulação é comumente utilizada para analisar possíveis problemas e estimar a característica de uma ou mais estações de trabalho ou linhas de produção. Entre as suas principais vantagens estão: a controlar experimentos sem paradas no sistema real, estimar características operacionais em tempo reduzido e auxiliar na tomada de decisões.

Além disso, outro grande benefício ao utilizar métodos de simulação em ambiente de manufatura é obter a visão geral do efeito de uma mudança no sistema propiciando aumento das taxas de utilização de equipamentos, produtividade, tornando-se uma ferramenta útil durante as tomadas de decisão (OLIVEIRA, 2007).

A propósito destas afirmações, Prado (2010) e Dantas (2014) definem que similarmente, o software Arena utiliza uma interface gráfica e possui um conjunto de blocos que podem ser utilizados para representar uma situação real. O sistema é modelado em forma de estações de trabalho com ferramentas estatísticas e recursos que se movem pelo sistema denominado entidades, que podem ser matérias primas que serão processados, objetos ou lotes. Cada atividade pode ser parametrizada de acordo com a situação real. O Arena possui recursos para análise estatística, modelagem de processos e análise de resultados, que permite a análise de cenários, realização de simulações de processo, verificação da ocupação de recursos, determinação de gargalos, permitindo simular melhores condições de operação e comportamento do sistema (PARAGON, 2017). Com o Arena, é possível fazer simulações



de diversas área da empresas e de diversos setores, desde a linha de produção (ROCHA et al., 2016) até a área logística (JATOBÁ et al., 2017)

### **3. Procedimentos metodológicos**

A pesquisa bibliográfica que norteou o presente trabalho baseou-se no estudo do planejamento da capacidade de produção, linhas produtivas e modelagem de processos industriais

Para a realização do estudo de caso a seguir utilizou-se relatórios da empresa de tempos produtivos, fichas técnicas e estrutura de produto internas, documento de estudo de tempos e movimentos do planejamento e controle da produção (PCP). As informações obtidas nestes documentos visaram identificar o tempo de produção em cada uma das etapas da produção.

De posse dos tempos de produção obtidos nos documentos citados acima, primeiramente modelou computacionalmente todas as etapas de produção no software Arena, considerando o tempo e capacidade de produção de cada uma delas. Em seguida, foi testada a inserção da trefiladora de 8 fios a fim de verificar como o processo produtivo se comportaria. Os resultados desta modelagem estão descritos a seguir.

### **4. Resultados e análises**

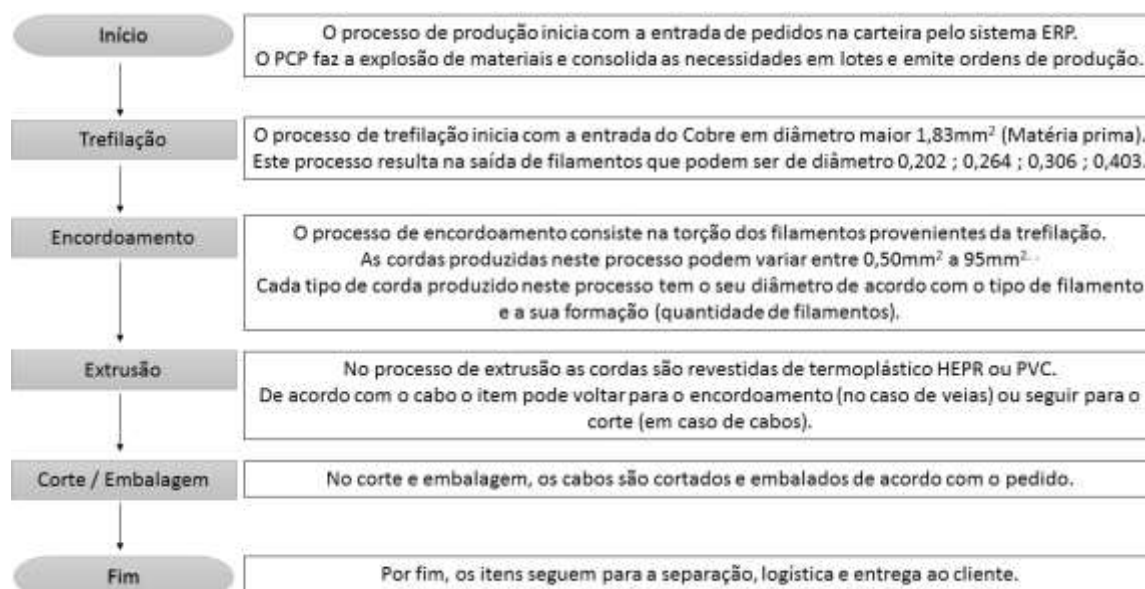
O sistema é característico de uma produção puxada e se inicia com as vendas e entrada de pedidos na carteira. O Planejamento e Controle de Produção faz a análise, consolida os itens solicitados na carteira de pedidos, faz a explosão de materiais necessários (filamentos, cordas, veias e cabos) para a produção da determinada demanda, gera as ordens de produção no sistema ERP, sequênciam as ordens de produção de acordo com a prioridade, viabilidade de processo e balanceamento de linhas.

Após as fases de planejamento e programação, a produção de cabos e condutores elétricos consiste em três etapas de produção e uma etapa de embalagem. A sequência da produção pode ser vista na figura 2.





Figura 2: Fluxograma simplificado do processo produtivo de cabos elétricos.



Fonte: Os autores, (2017).

Os itens em todas as etapas são acondicionados em bobinas de ferro. De acordo com a etapa do processo, a bobina pode variar o tamanho e o máximo de acondicionamento. Todo o processo produtivo tem o limite máximo de atendimento a demanda em um período de 15 dias a partir da sua data de entrada na carteira de pedidos.

#### 4.1 A Demanda

A fábrica de condutores elétricos produz aproximadamente 2000 tipos de produto acabado por mês que podem ser classificados em 10 famílias de produtos distintos. Está descrita na tabela 1 cada família com as suas devidas características:

Tabela 1 – Tipos de produtos produzidos

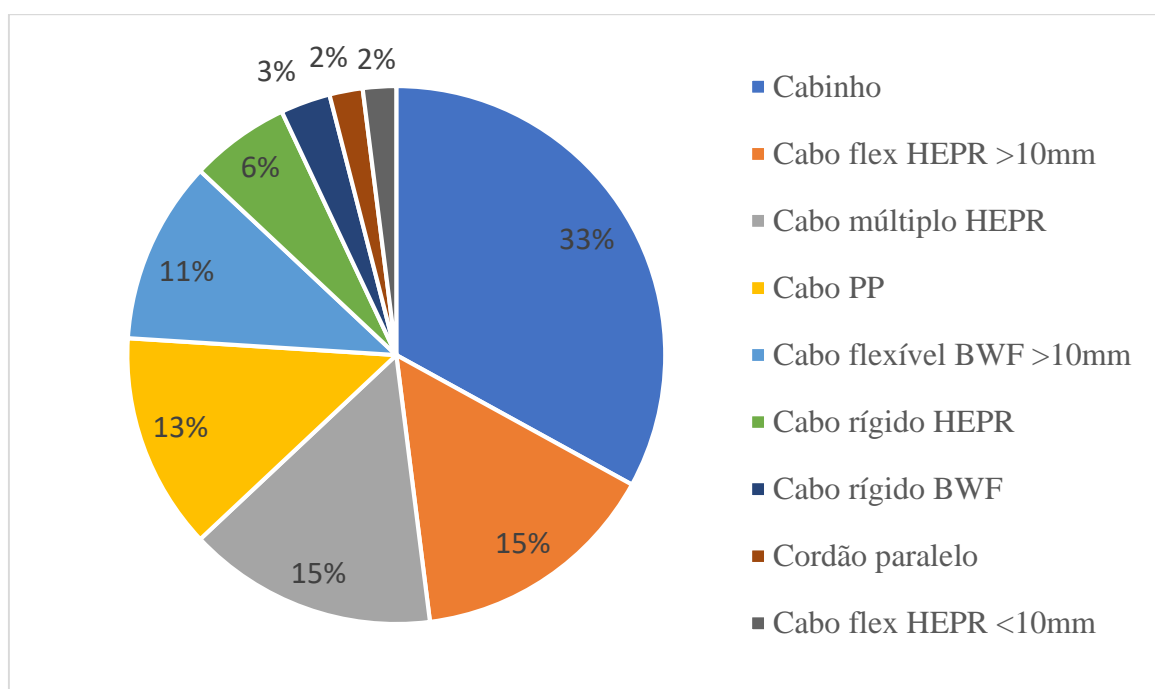


Tipos de produtos produzidos						
Classificação	Diametro	Nº de vias	Condutor	Encordoamento	Isolação	Cobertura
Cabinhos Flexíveis	0,50 a 6,00	1	Fios de cobre eletrolítico	Flexível	Termoplástico PVC	-
Cabo flexível BWF	10 a 95	1	Fios de cobre eletrolítico	Flexível	Termoplástico PVC	-
Cabo flexível HEPR	10 a 95	1	Fios de cobre eletrolítico	Flexível	Termofixo HEPR	Termoplástico PVC
Cabo PP	0,50 a 6,00	2,3 ou 4	Fios de cobre eletrolítico	Flexível	Termoplástico PVC	Termoplástico PVC
Cabo Múltiplo HEPR	1,00 a 6,00	2,3 ou 4	Fios de cobre eletrolítico	Flexível	Termofixo HEPR	Termoplástico PVC
Cabo Rígido HEPR	6 a 35 mm <sup>2</sup>	1	Fios de cobre eletrolítico	Rígido	Termofixo HEPR	Termoplástico PVC
Cabo Rígido BWF	6 a 35 mm <sup>2</sup>	1	Fios de cobre eletrolítico	Rígido	Termoplástico PVC	-
Cordão Paralelo	0,50 a 6,00	2	Fios de cobre eletrolítico	Flexível	Termoplástico PVC	-
Fio Mack sólido	1,5 a 10	1	Fios de cobre eletrolítico	-	Termoplástico PVC	-
Cordão Torcido	0,50 a 6,00	2	Fios de cobre eletrolítico	Flexível	Termoplástico PVC	-

Fonte: Os autores, (2017).

Para obtenção dos valores relacionados a quantidade da demanda foi utilizado o histórico de pedidos no intervalo de um ano. Foram considerados os meses de novembro de 2016 a outubro de 2017 e o volume médio de pedidos em metros lineares dos cabos de acordo com a classificação de família na figura 3.

Figura 3: % Demanda por classificação de família dos cabos (kg)





Fonte: Os autores, (2017).

Na figura 3 mostra um alto percentual em relação a família de Cabinhos. Estes itens possuem um tempo de atravessamento mais rápido no processo, pois tem um fluxo contínuo no processo trefilação, encordoamento, extrusão e corte. Nos maiores % de demanda vêm em seguida as famílias de Cabo Flexível HEPR que tem um maior valor agregado devido ao composto HEPR presente em sua estrutura. E os Cabos PPs e Múltiplos HEPR, o processo destes em contrapartida tem um maior tempo de atravessamento. O seu processo passa pelas etapas de trefilação, encordoamento, extrusão das veias, torção das veias no setor de encordoamento. Após esta etapa retorna para a extrusão e segue para o corte.

#### **4.2 Capacidade disponível**

O regime de trabalho da empresa é caracterizado pelo seu funcionamento em três turnos de produção seis dias por semana, exceto aos sábados que possui uma redução na jornada de trabalho, devido a folga alternada do terceiro turno. Desta forma, para o cálculo da quantidade de horas disponíveis em um mês, pode-se considerar vinte e quatro dias de operação com três turnos e jornada de oito horas cada e dois dias com a operação com dois turnos. Totalizando assim uma jornada mensal de 608 horas, podendo esse número variar de acordo com os possíveis feriados. Não há parada para refeições, os colaboradores revezam entre si durante este período.

Através da análise dos tempos de processamento, considerou-se a quantidade em metros lineares que podem ser produzidos considerando 608 horas disponíveis por linha de produção. Na tabela 2 as quantidades em metros lineares foram convertidas em kg. Posteriormente, as quantidades em kg foram multiplicadas pela quantidade de horas disponíveis com o intuito de obter a capacidade total em kg de cada linha no período de um mês.

Tabela 2: Cálculo de Capacidade disponível em Kg



Capacidade Disponível - Mensal				
Linha	Processo	Capacidade Kg/H	Horas disponíveis	Capacidade Total (Kg)
M-14	Trefilação	897,50	608	545.680,00
N-80	Encordoamento	432,09	608	262.710,72
N-63		178,83	608	108.728,64
S-63		327,22	608	198.949,76
B-10		678,90	608	412.771,20
B-12		575,60	608	349.964,80
L-01		Extrusão	271,60	608
L-02	681,60		608	414.412,80
L-03	420,06		608	255.396,48
L-04	670,30		608	407.542,40
<b>Total</b>		<b>5.134</b>	<b>6.080</b>	<b>3.121.289,60</b>

Fonte: Os autores, (2017).

### 4.3 Capacidade efetiva

Neste estudo de caso, a empresa possui os seguintes tipos de paradas planejadas: Trocas de bobinas e manutenção preventiva (em todas as etapas do processo), Troca de feiras (processo de trefilação), tempo de centralização (extrusão), troca de ferramenta e matriz (extrusão), troca de cor (extrusão), Troca de composto (extrusão).

A frequência de paradas e setups na empresa ocorrem de acordo com a programação e são medidos de acordo a quantidade de bobinas. Cada processo tem um padrão de acondicionamento diferente.

Na tabela 3 são quantificadas as horas de paradas planejadas que foi calculada de acordo com a quantidade de bobinas, paradas planejadas e outras trocas inerentes ao processo descritas na tabela.



Tabela 3: Tempos de Paradas planejadas por setor.

Paradas Planejadas									
Características do Processo			Tempo Total de Trocas (h)				Tempo total de ajustes (h)		Tempo Total
Linha	Etapa	Nº bobinas	Bobina	Cor	Composto	Ferramenta	Centralização	M. Preventiva	(Horas / mês)
M-14	Trefilação	1158	96,48	0,00	0,00	15,00	0,00	8,00	119,48
N-80	Encordoamento	482	40,17	0,00	0,00	10,05	0,00	8,00	58,22
N-63		459	38,25	0,00	0,00	9,57	0,00	8,00	55,82
S-63		511	42,55	0,00	0,00	10,63	0,00	8,00	61,18
B-10		263	21,88	0,00	0,00	21,88	0,00	8,00	51,77
B-12		511	42,55	0,00	0,00	42,55	0,00	8,00	93,10
L-01		Extrusão	227	18,88	22,65	25,00	3,78	18,88	8,00
L-02	339		28,25	33,87	25,00	5,65	28,25	8,00	129,02
L-03	312		25,97	31,15	0,00	5,20	25,97	8,00	96,28
L-04	730		60,82	24,33	0,00	7,60	60,82	8,00	161,57
<b>Total</b>		<b>4.992</b>	<b>416</b>	<b>112</b>	<b>50</b>	<b>132</b>	<b>134</b>	<b>80</b>	<b>924</b>

Fonte: Os autores, (2017).

**Nº de Bobinas** = Quantidade de bobinas a serem produzidas de acordo com a demanda.

**Bobina** = Tempo total em horas necessárias para a trocas de bobinas.

**Cor** = Tempo total em horas necessárias para a troca de cor, aplicável apenas para o processo de extrusão (os condutores elétricos podem ser produzidos em até 7 cores).

**Composto** = Tempo total em horas necessárias para a troca de composto Termoplástico PVC e Termofixo HEPR, aplicável apenas para as linhas de extrusão que produzem as veias HEPR, cabos múltiplos HEPR e cabos PPs.

**Ferramentas** = Tempo total em horas necessárias para a troca de ferramentas que conduzem a formação do cabo de acordo com o seu diâmetro. No processo de trefilação as ferramentas são fieiras. No encordoamento e extrusão as ferramentas são bicos e matrizes.

**Centralização** = Tempo total em horas necessárias para a centralização do cabo nas linhas de extrusão, o cabo deve estar uniforme e o condutor no centro sua isolamento, os operadores só dão partida na produção do cabo após cumprir estes requisitos de qualidade.

**M. Preventiva** = Tempo total em horas necessárias para manutenção preventiva da linha de produção, esta parada ocorre uma vez por mês, em horário administrativo.

Na tabela 4, foi feito o cálculo das horas disponíveis subtraindo os tempos consolidados necessários para as paradas planejadas que foram obtidos na tabela 3, com o objetivo de obter



a quantidade de horas efetivas por linha de produção, para o cálculo de capacidade efetiva na tabela 4.

Tabela 4: Cálculo de Horas Efetivas

Cálculo de Horas Efetivas				
Linha	Processo	Horas disponíveis	Paradas Planejadas	Horas efetivas
M-14	Trefilação	608,00	119,48	488,52
N-80	Encordoamento	608,00	58,22	549,78
N-63		608,00	55,82	552,18
S-63		608,00	61,18	546,82
B-10		608,00	51,77	556,23
B-12		608,00	93,10	514,90
L-01	Extrusão	608,00	97,20	510,80
L-02		608,00	129,02	478,98
L-03		608,00	96,28	511,72
L-04		608,00	161,57	446,43
Total		6080,00	923,63	5156,37

Fonte: Os autores, (2017).

Na tabela 5, foi calculada a capacidade das linhas de produção em Kg/Hora evidenciados na tabela 2, pela quantidade de horas efetivas calculadas na tabela 4, o resultado deste calculo é a capacidade efetiva de processamento em Kg por linhas de produção.

Tabela 5: Capacidade efetiva



Capacidade efetiva - Mensal				
Linha	Processo	Capacidade Kg/H	Horas efetivas	Capacidade Efetiva (Kg)
M-14	Trefilação	897,50	488,52	438.443,71
N-80	Encordoamento	432,09	549,78	237.555,88
N-63		178,83	552,18	98.746,95
S-63		327,22	546,82	178.929,35
B-10		678,90	556,23	377.626,81
B-12		575,60	514,90	296.376,44
L-01		Extrusão	271,60	510,80
L-02	681,60		478,98	326.475,04
L-03	420,06		511,72	214.951,70
L-04	670,30		446,43	299.244,26
Total		5.134	5.156	2.607.083

Fonte: Os autores, (2017).

#### 4.4 Simulação das Linhas de Produção

O processo foi simulado com o intuito de obter o tempo de produção necessário de cada linha de produção para atendimento a demanda. Posteriormente, os tempos necessários para a produção obtidos na simulação foram comparados aos tempos disponíveis e efetivos de cada etapa do processo com a finalidade de identificar se as linhas de produção possuem capacidade para atender a demanda e se não, ter os gargalos do processo identificados e simular propostas de melhorias.

A simulação foi realizada através do software Arena, utilizando os blocos do software: *Create* (entrada das Ordens de Produção que serão produzidas), *Station* (Registra a entrada das entidades ou bobinas no processo), *Process* (Bloco onde ocorre o processo), *Leave* (Responsável por encaminhar as bobinas que saíam deste tipo de processo para a próxima etapa), *Dispose* (Saída do processo).

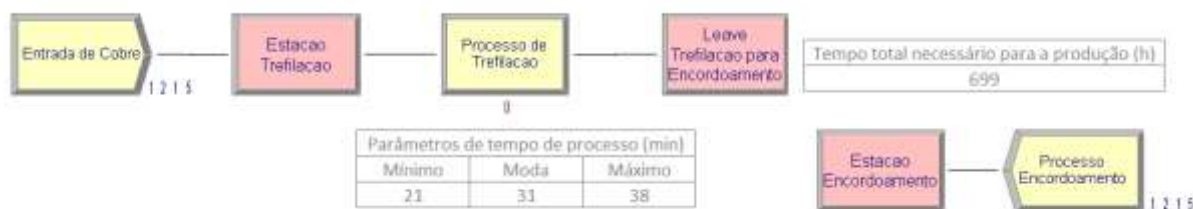
Na indústria de condutores elétricos, os tempos de processamento de todas as linhas são medidos em velocidade de metro linear de processamento por segundo (na trefilação) e por minuto nos processos posteriores.



O *input* dos tempos de produção foi baseado nos conceitos da distribuição triangular, considerando o tempo mínimo de produção, moda e máximo de processo de cada bobina, de acordo com o seu padrão de acondicionamento de cada processo.

A figura 4 apresenta o resultado da simulação da produção do processo de trefilação de 1215 bobinas na linha de produção de 14 fios M-14, considerando a demanda necessária de todos os tipos de filamentos  $0,202 \text{ mm}^2$ ;  $0,264 \text{ mm}^2$ ;  $0,306 \text{ mm}^2$  e  $0,403 \text{ mm}^2$ . Os parâmetros de tempo utilizados para o processamento de cada bobina foi de no mínimo 21 minutos, tempo moda de 31 minutos e tempo máximo 38 minutos. Cada bobina possui um padrão de acondicionamento neste processo de 60.000 metros lineares, exceto as bobinas de filamentos 0,403 que o seu padrão é de 30.000 metros lineares. Como resultado obtido foi encontrado um tempo total necessário de 699 horas para processar esta quantidade de bobinas.

Figura 4: Simulação do processo de trefilação 14 fios.



Fonte: Os autores, (2017).

Após o processo de trefilação os filamentos seguiram de acordo com o seu diâmetro para as linhas de encordoamento. Cada linha possui a sua particularidade em relação aos produtos produzidos de acordo com as suas características.

As simulações das figuras 5, 6 e 7 respectivamente das linhas de encordoamento N-80, N-63 e S-63, são produzidas as cordas flexíveis de  $0,50 \text{ mm}^2$  a  $6 \text{ mm}^2$ . O padrão de acondicionamento das bobinas nestas linhas de produção são de 20.000 metros lineares.

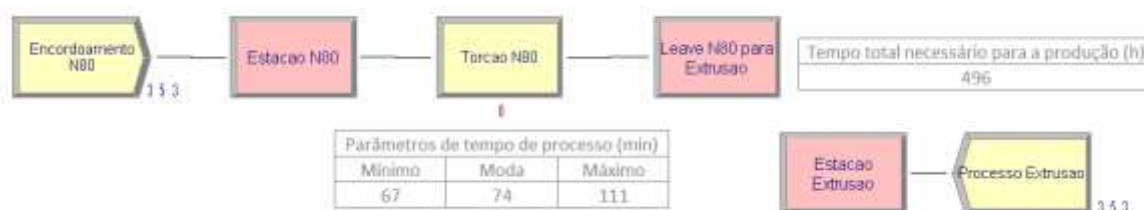
A figura 5 apresenta o resultado da simulação da produção de 353 bobinas, nesta linha são produzidas as cordas  $2,5 \text{ mm}^2$ ,  $4 \text{ mm}^2$  e  $6 \text{ mm}^2$ . Os parâmetros de tempo utilizados na





simulação da figura 8 foram: 67 minutos mínimo, 74 minutos moda e 111 minutos como máximo. Como resultado da simulação foi necessário para execução da demanda 496 horas.

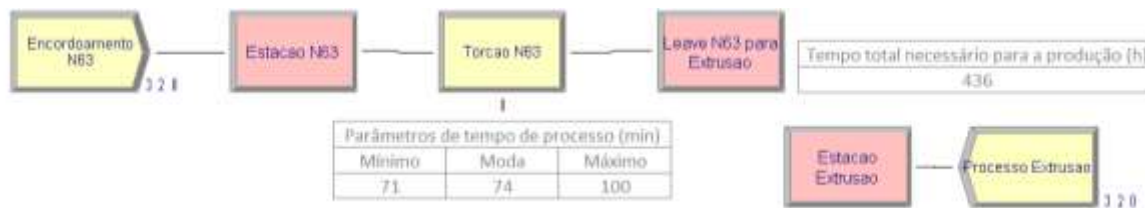
Figura 5: Simulação do processo de Encordoamento N80



Fonte: Os autores, (2017).

A figura 6 apresenta o resultado da simulação da produção de 320 bobinas referente a produção de cordas 0,50 mm<sup>2</sup> a 2,50 mm<sup>2</sup>. Foram utilizados o padrão de tempo de 71 minutos mínimo, 74 minutos moda e 100 minutos como máximo. De acordo com a simulação foram necessárias 436 horas para o processamento dessas bobinas.

Figura 6: Simulação do processo de Encordoamento N-63

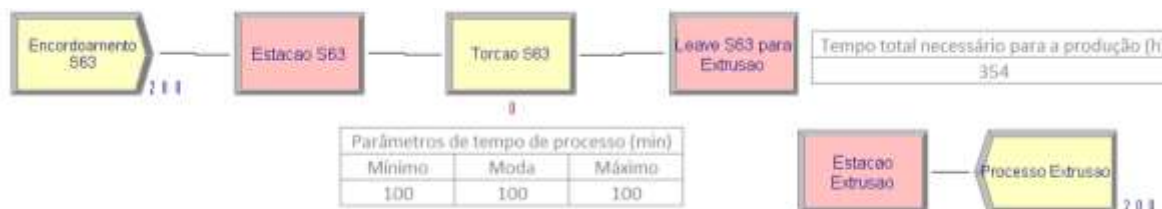


Fonte: Os autores, (2017).

A figura 7 apresenta o resultado da simulação da produção de 200 bobinas referente a produção de cordas 2,5 mm<sup>2</sup>. Foi utilizado o padrão de tempo de 100 minutos como mínimo, moda e máximo, devido a ser apenas um tipo de produto neste processo, não possui variações em seu tempo de produção. De acordo a simulação foram necessárias 354 horas de processamento.

Figura 7: Simulação do processo de Encordoamento S-63

Recebido 30/08/2018; Aceito 04/11/2019



Fonte: Os autores, (2017).

A simulação do processo de encordoamento da linha B-10 presente na figura 8, encorda a demanda de cordas flexíveis  $> 10 \text{ mm}^2$  e  $< 16 \text{ mm}^2$ , feixes para cordas  $> 16 \text{ mm}^2$  e  $< 95 \text{ mm}^2$ , veias PPs e cordões torcidos. Os parâmetros de tempo utilizados neste processo de encordoamento foi o tempo mínimo e moda de 118 minutos e máximo de 250 minutos. Cada bobina neste processo possui um padrão de acondicionamento de 20.000 metros lineares. Com esta simulação identificou-se que foram necessárias 417 horas para processar esta quantidade de bobinas.

Figura 8: Simulação do processo de Encordoamento B-10



Fonte: Os autores, (2017).

A figura 9 apresenta o resultado da simulação da produção de 308 bobinas no processo de encordoamento da linha B-12, encorda todos os diâmetros de corda rígida produzidos na unidade, as cordas flexíveis  $> 16 \text{ mm}^2$  e torce as veias dos múltiplos HEPR. Os parâmetros de tempo utilizados neste processo de encordoamento foram de no mínimo 39 minutos, médio e moda de 55 minutos e máximo de 80 minutos. O padrão de acondicionamento de bobinas neste processo é de 5000 metros lineares. O resultado obtido da simulação é de que foram necessárias 527 horas para processar a demanda.



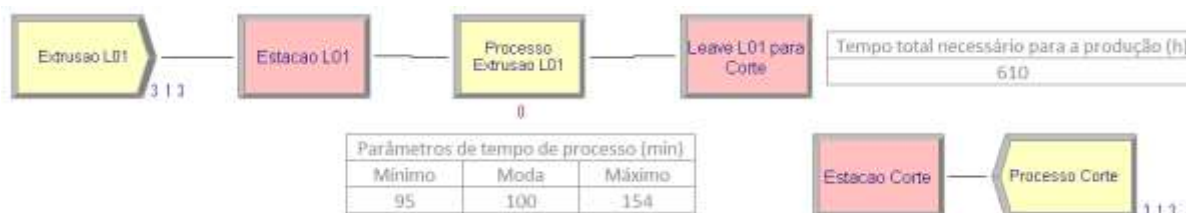
Figura 9: Simulação do processo de Encordoamento B12



Fonte: Os autores, (2017).

A figura 10 apresenta o resultado da simulação da produção de 313 bobinas na linha de extrusão L-01, referente a produção de cabos flexíveis e veias  $0,50 \text{ mm}^2$  a  $1,00 \text{ mm}^2$  e  $4 \text{ mm}^2$  a  $6,00 \text{ mm}^2$ , veias para múltiplos HEPR, veias para cabos torcidos e cabos rígidos  $4,00 \text{ mm}^2$ . Foi utilizado o padrão de tempo mínimo de 95 minutos, moda de 100 minutos e máximo de 154 minutos. Cada bobina neste processo possui um padrão de acondicionamento de 20.000 metros lineares. Como resultado da simulação foi identificado que seriam necessárias 610 horas para processar esta quantidade de bobinas.

Figura 10: Simulação do processo de Extrusão L-01



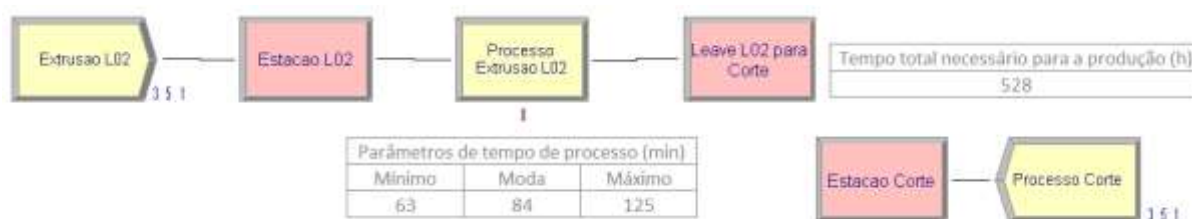
Fonte: Os autores, (2017).

A figura 11 apresenta o resultado da simulação da produção na linha de extrusão L-02, 351 bobinas referente a produção de veias para cabos HEPR  $> 10,00 \text{ mm}^2$ , Cabos flexíveis  $> 35 \text{ mm}^2$ , cabos múltiplos HEPR, cabos solda, cabos rígidos  $> 25 \text{ mm}^2$  e cabos PPs  $> 4,00 \text{ mm}^2$ . Os parâmetros de tempo utilizados para o processamento de cada bobina foram de 63 minutos como tempo mínimo, 84 minutos como moda e 125 minutos como tempo máximo. Cada bobina



neste processo tem um padrão de acondicionamento de 5.000 metros lineares. De acordo com os resultados da simulação foram necessárias 528 horas para o processamento desta quantidade total de bobinas.

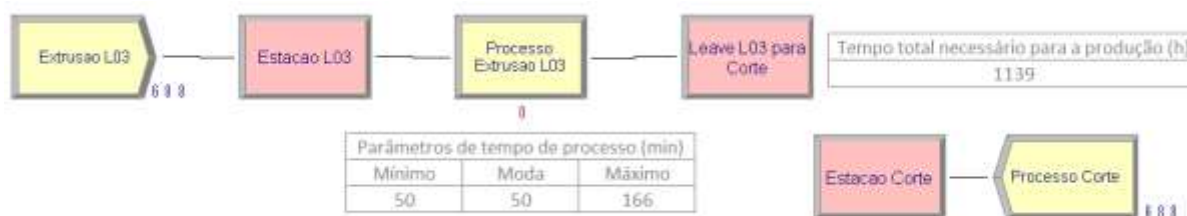
Figura 11: Simulação do processo de Extrusão L-02



Fonte: Os autores, (2017).

A figura 12, apresenta o resultado da simulação da produção de 688 bobinas na linha de extrusão L-03, referentes a produção veias e cabos PPs, veias para cabos torcidos, cabos flexíveis até  $< 25,00 \text{ mm}^2$ , cabos rígidos  $6,00$  a  $16,00 \text{ mm}^2$ , fios sólidos, cabos paralelos, cabos múltiplos HEPR  $< 4,00 \text{ mm}^2$ . Os parâmetros de tempo utilizados na simulação foram de 50 minutos como tempo mínimo e moda, tempo máximo de 166 minutos. Cada bobina neste processo tem um padrão de acondicionamento de 10.000 metros lineares. Como resultado da simulação foi obtido o tempo necessário de 1.139 horas para o processamento desta demanda.

Figura 12: Simulação do processo de Extrusão L-03



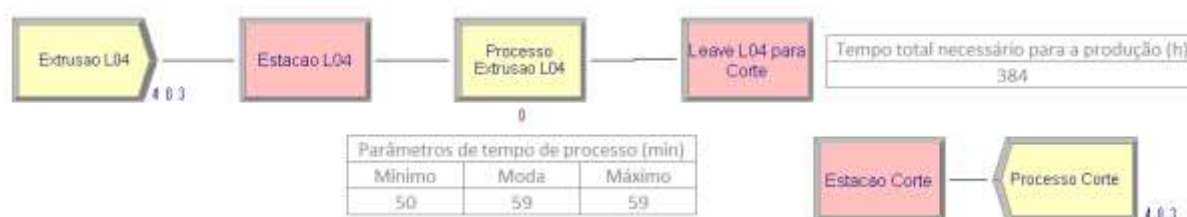
Fonte: Os autores, (2017).

A figura 13, apresenta o resultado da simulação de produção de 403 bobinas no processo de extrusão da linha L-04, referente a produção de cabos flexíveis  $1,50 \text{ mm}^2$  e  $2,5 \text{ mm}^2$ . Os



parâmetros de tempo utilizados na simulação foram de no mínimo 50 minutos, moda e máximo de 59 minutos. O tempo total necessário para a produção nesta linha foi de

Figura 13: Simulação do processo de Extrusão L-04



Fonte: Os autores, (2017).

#### 4.5 Identificação de gargalos

No caso da indústria de condutores elétricos, através das simulações presentes nas figuras 6 a 14, foi possível obter o tempo necessário para a produção da demanda de cada linha de produção.

Na tabela 6, foi possível fazer a comparação entre o tempo necessário para atendimento a demanda e o tempo de capacidade efetiva. Desta forma foi possível identificar os gargalos, verificando as linhas de produção que ultrapassam o limite de 100% de utilização.

Tabela 6: Comparação Tempo necessário x Tempo disponível efetivo

Tempo necessário para atendimento da demanda x tempo disponível				
Linha	Processo	Tempo necessário	Tempo Efetivo	% Utilização
M-14	Trefilação	699	489	143%
N-80	Encordoamento	496	550	90%
N-63		436	552	79%
S-63		354	547	65%
B-10		417	556	75%
B-12		527	515	102%
L-01	Extrusão	610	511	119%
L-02		528	479	110%
L-03		1139	512	223%
L-04		384	446	86%
<b>Total</b>		<b>5.590</b>	<b>5.156</b>	<b>108%</b>

Fonte: Os autores, 2017



Fazendo a análise da tabela 6, é possível identificar que os principais gargalos na operação estão concentrados nas linhas de produção de trefilação M-14 e Linha de extrusão L-03, seguidos de gargalos menores nas linhas L-01 e L-02.

Com o intuito de propor possíveis melhorias no fluxo do processo, foram realizadas algumas simulações:

Nas primeiras simulações de proposta de melhoria, foi realizada a simulação das linhas de 14 fios, na figura 14, e 8 fios, na figura 15, funcionando simultaneamente com a reativação da linha de trefilação 8 fios.

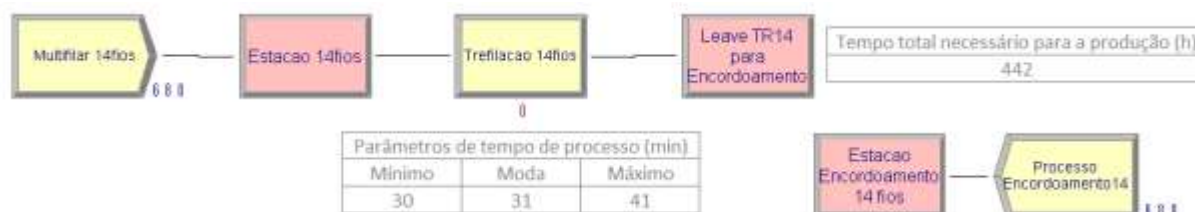
Na segunda simulação de proposta de melhoria, foi necessário transferir a produção de 85% da demanda de cabinho 4 mm<sup>2</sup> da linha de extrusão padrão L-01 para L-04, esta simulação pode ser visualizada na figura 16, com o intuito de tirar a sobrecarga da L-01 e reduzir a ociosidade da L-04.

#### **4.6 Simulação de propostas de melhoria.**

Na simulação referente as linhas de trefilação 14 e 8 fios funcionando simultaneamente, a demanda necessária dos filamentos 0,202; 0,264; 0,306 e 0,403 foram divididos entre as duas linhas sendo: 0,202; 0,264 e 0,403 produzidos na Linha de trefilação 14 fios, figura 14, e os filamentos 0,403 produzidos na Multifilar 8 fios, figura 15.

A figura 14 apresenta a simulação do processo de trefilação 14 fios, funcionando simultaneamente com o processo de trefilação 8 fios, sendo necessário a trefilação de 680 bobinas. Como parâmetros de tempo foram utilizados 30 como tempo mínimo, 31 minutos como tempo moda e 41 minutos como tempo máximo. Na simulação foi obtido o resultado de 442 horas necessárias para a trefilação da demanda de 0,202 mm<sup>2</sup>, 0,264 mm<sup>2</sup> e 0,306 mm<sup>2</sup>.

Figura 14: Simulação do processo de trefilação 14 fios, com a reativação de 8 fios.

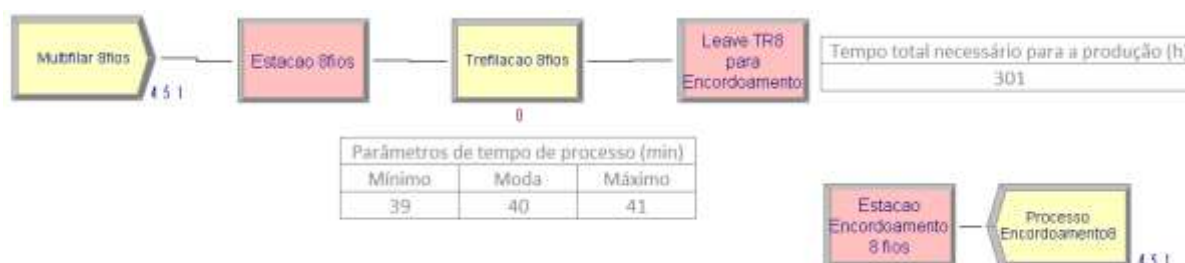


Fonte: Os autores, (2017).

A figura 15 apresenta a simulação do processo de trefilação 8 fios, funcionando simultaneamente com o processo de trefilação 14 fios, sendo necessária a produção de 451 bobinas, para atender a demanda de filamentos  $0,403 \text{ mm}^2$ . Como parâmetro de tempo na simulação foi utilizado como tempo mínimo 39 minutos, 40 minutos como moda e 41 minutos como tempo máximo. O processo não possui muita variação de tempo, devido a produção de um único tipo de filamento. Na simulação foi obtido o resultado de tempo necessário para atendimento a demanda de 301 horas.

Neste caso, com o resultado que foi obtido de necessidade de tempo na simulação da figura 15, não justificaria uma jornada de trabalho de 608 horas, pois o recurso ficaria ocioso aproximadamente metade deste tempo, a jornada de trabalho que justificaria a reativação da máquina seria de 2 turnos de produção, totalizando 416 horas de tempo disponível e 300 horas de tempo efetivo.

Figura 15: Simulação do processo de trefilação 8 fios, funcionando com a 14 fios.



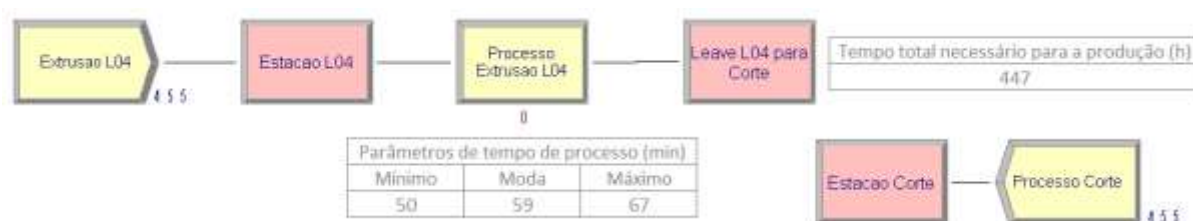
Fonte: Os autores, (2017).

A figura 16, apresenta a simulação da linha de extrusão L-04, após a transferência da demanda de 85% da demanda de cabinhos  $4,00 \text{ mm}^2$ . Esta ação foi proposta devido ao tempo



disponível/ocioso que a máquina apresentou na simulação da tabela 5. Na simulação da figura 17, foram adicionadas 52 bobinas de cabinho 4,00 mm<sup>2</sup> processo da linha de extrusão L-04 e os parâmetros de tempo máximo da linha precisou ser alterado para 67 minutos, pois o cabo flexível 4,00 mm<sup>2</sup> tem a velocidade de processamento de 300 metros por minuto. Como resultado da simulação foi obtido o tempo necessário para realizar esta operação foi de 447 horas.

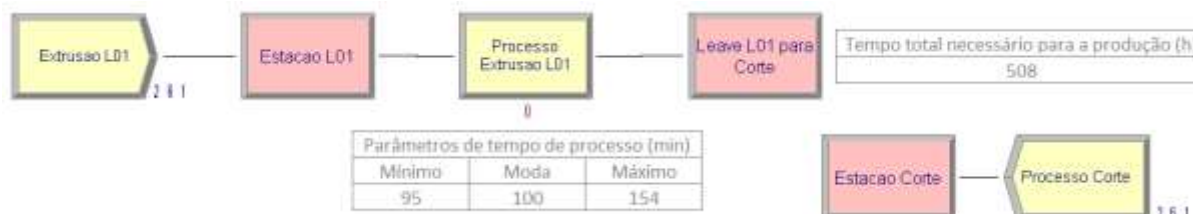
Figura 16: Simulação da produção de 85% da demanda de 4,00 mm<sup>2</sup> da L-01 para a L-04.



Fonte: Os autores, (2017).

A figura 17 apresenta a simulação de produção na linha de extrusão L-01 retirando a demanda de 85% (52 bobinas) da sua produção necessária de cabinhos 4,00 mm<sup>2</sup>, para ajustar a demanda ao tempo disponível e efetivo da linha, utilizando de melhor forma a capacidade da L-04. O tempo total necessário para a produção foi de 508 horas.

Figura 17: Simulação da produção L-01 após transferência de 85% de 4,00 mm para L-04



Fonte: Os autores, (2017).





Com os resultados obtidos na simulação das figuras 14, 15, 16 e 17. Foi possível verificar que as ações propostas, trouxeram para o processo resultados positivos. Ficando apenas a L-03 como gargalo, linha na qual serão necessárias estudos e ações maiores para a eliminar este gargalo e a L-02 uma simples melhoria nas velocidades ou redução *set-ups* conseguem ajustar a sua capacidade.

Por fim, podemos analisar o cenário da indústria de condutores elétricos, na tabela 7, após as propostas de melhorias simuladas nas figuras 14, 15, 16 e 17. Pode ser notado que houve um melhor equilíbrio e melhor utilização da capacidade nos processos de trefilação, garantindo o abastecimento de todas as linhas de produção com os filamentos disponíveis dentro do tempo necessário e sem atrasos. E também houve uma melhor distribuição de demanda entre as linhas de extrusão L-01 e L-04, garantindo um melhor percentual de utilização destas linhas.

Tabela 7: Cenário das linhas de produção anterior x posterior simulação das mudanças propostas.

Tempo necessário para atendimento da demanda x tempo disponível							
		Cenário anterior às propostas de melhoria			Cenário posterior às propostas de melhoria		
Linha	Processo	Tempo Efetivo	Tempo necessário	% Utilização	Tempo Efetivo	Tempo necessário	% Utilização
M-08	Trefilação	0,00	Inativa	Inativa	300,00	301,00	100%
M-14		488,52	699,00	143%	488,52	404,00	83%
N-80	Encordoamento	549,78	496,00	90%	549,78	496,00	90%
N-63		552,18	436,00	79%	552,18	436,00	79%
S-63		546,82	354,00	65%	546,82	354,00	65%
B-10		556,23	417,00	75%	556,23	417,00	75%
B-12		514,90	527,00	102%	514,90	527,00	102%
L-01		Extrusão	510,80	610,00	119%	510,80	508,00
L-02	478,98		528,00	110%	478,98	528,00	110%
L-03	511,72		1139,00	223%	511,72	1139,00	223%
L-04	446,43		384,00	86%	446,43	447,00	100%
<b>Total</b>		<b>5156,37</b>	<b>5590,00</b>	<b>102%</b>	<b>5.456,37</b>	<b>5.256,00</b>	<b>96%</b>

Fonte: Os autores, 2017

Com os resultados de simulação obtidos, conclui-se que o processo produtivo possui três gargalos, o primeiro na trefilação, e em seguida as linhas de extrusão L-01 e L-03. estes processos impossibilitam o atendimento hábil da demanda, desta forma gerando atrasos de produção.

Recebido 30/08/2018; Aceito 04/11/2019



De acordo com as simulações, é possível aumentar a capacidade da etapa de trefilação com a reativação da linha de trefilação 8 fios, funcionando em jornada de 2 turnos diários (segunda a sábado). No gargalo da linha de extrusão L-01 é possível mudar o padrão de processamento de parte da demanda a ser atendida por esta linha, para outra linha de produção que tenha disponibilidade. Para o gargalo da linha de extrusão L-03 é sugerido fazer um trabalho de melhoria na velocidade deste processo ou traçar a médio ou longo prazo a aquisição de uma nova linha de extrusão. Outra alternativa para a empresa é utilizar estratégias para controlar a demanda.

## 5. Considerações finais

Através da análise dos tempos de produção e das simulações, foi possível analisar a capacidade disponível e efetiva das linhas de produção. Identificando os gargalos do processo através da comparação entre o tempo necessário para atendimento da demanda, obtidos através das simulações e o tempo disponível e efetivo de cada linha de produção.

A reativação da linha de trefilação de 8 fios exigirá mais espaço na área de produção. Neste sentido, recomenda-se como trabalhos futuros uma análise de como ficará o fluxo do processo produtivo e os investimentos necessários caso se faça necessária uma ampliação.

O aumento da capacidade de produção impactará também na capacidade logística da empresa. Assim, sugere-se como trabalho futuro analisar como se comportará a capacidade de armazenamento da matéria prima e dos produtos acabados, bem como a capacidade de transporte dos produtos após a reativação da linha de trefilação de 8 fios e da aquisição de uma nova linha de extrusão. E por se tratar de investimentos, recomenda-se para trabalhos futuros a análise de viabilidade econômica desses novos investimentos.

## Referências

- ANTUNES, J.; ALVAREZ, R.; KLIPPEL, M.; BORTOLOTTI, P.; PELLEGRIM, I. Sistema de produção: conceitos e práticas para o projeto e gestão da produção enxuta. Porto Alegre: Bookman, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NOTAS TÉCNICAS. **280**: Condutores de cabos isolados (IEC 60228, MOD). 1 ed. São Paulo: Abnt, 2011. 24 p.



- CORRÊA, Henrique L. Administração de produção e operações: manufatura e serviços: uma abordagem estratégica/Henrique L. Corrêa, Carlos A. Corrêa.– 3ª Ed. São Paulo: Atlas, 2012.
- DANTAS, Roberta R. Simulação e otimização do processo produtivo de uma fábrica de doces. Universidade de Brasília, 2014.
- HARREL, C. R.; GHOSH, B. K.; BOWDEN, R. Simulation Using Promodel. McGraw-Hill, 2000.
- JATOBÁ, Antonio Augusto Farias et al. Uso do Arena na simulação do processo de exportação de frutas no terminal de carga de um aeroporto. **Produção em Foco**, [s.l.], v. 7, n. 1, p.79-97, 20 dez. 2017. Centro Universitario UNISOCIESC. <http://dx.doi.org/10.14521/p2237-5163.2017.0011.0006>.
- MALHOTRA, Krajewski R. Administração de produção e operações. 8ª ed. São Paulo: Pearson.2012.
- MOREIRA, Daniel A. Administração da produção e operações. 2ª ed. São Paulo: Cengage Learnig, 2012.
- PARAGON. Softwares. 2017. Disponível em <[www.paragon.com.br/software/arena/](http://www.paragon.com.br/software/arena/)>. Acesso em: 20. Nov.2011, 04:23.
- PEINADO, Jurandir; GRAEML, Alexandre Reis. Administração da produção. **Operações industriais e de serviços**. Unicenp, 2007.
- PRADO, D. S. Usando o Arena em simulação. 5ªed. Belo Horizonte: INDG Tecnologia e serviços Ltda, 2010.
- ROCHA, Luiz Célio Souza et al. Modificações na eficiência de máquinas e seu impacto na produtividade: avaliação pela simulação a eventos discretos. **Produção em Foco**, [s.l.], v. 6, n. 03, p. 1-12. 11 out 2016. Centro Universitario UNISOCIESC. <http://dx.doi.org/10.14521/P2237-5163.2016.0010.0001>
- OLIVEIRA, G. B. Simulação Computacional: Análise de um Sistema de Manufatura em Fase de Desenvolvimento. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Engenharia de Itajubá: UNIFEI, 2007.
- SLACK, Nigel. Administração da Produção. 3ª ed. São Paulo: Atlas, 2009.
- TUBINO, Dalvio F. Manual do Planejamento e Controle da Produção. 2ª ed. São Paulo: Atlas, 2006.