

PROPOSIÇÃO DE SEQUENCIAMENTO DE PRODUÇÃO PARA UMA MÁQUINA VISANDO A DIMINUIÇÃO DO TEMPO TOTAL DE *SETUPS* EM UMA FÁBRICA DE CHICOTES ELÉTRICOS

Autor: Leonardo Lacerda Freymuth – leofreymuth@gmail.com

Orientador: Ricardo Augusto Cassel – cassel@producao.ufrgs.br

Resumo: Esse artigo tem como propósito pesquisar e auxiliar na elaboração de um algoritmo de sequenciamento de produção para uma máquina de corte e crimpagem que é gargalo de uma célula de uma empresa. A pesquisa é desenvolvida em um Sistema Flexível de Manufatura (FMS – Flexible Manufacturing System) responsável pela pré-montagem de chicotes elétricos com tempos de *setup* dependentes da sequência de produção. O sequenciamento atual foi elaborado para tentar minimizar as limitações do atual sequenciamento de corte utilizado pela máquina. Dessa forma, foi proposto um algoritmo para minimizar os tempos de *setup* da máquina. Os resultados obtidos nas simulações do algoritmo foram eficientes, tendo uma redução final de 12,93% de tempo de *setup* da máquina na amostra realizada, indicando que a forma de sequenciamento proposta foi eficiente e está pronta para ser implementada pela empresa.

Palavras-chave: Programação da produção; Tempos de *setup*; Algoritmo de sequenciamento.

1. INTRODUÇÃO

Devido às concorrências de mercado, as empresas devem buscar continuamente a inovação e melhoria de seus processos produtivos para manterem-se operantes e competitivas. O mercado busca produtos que atendam características como preço, qualidade e prazo de entrega. Desta forma, a gestão da produção tem papel de gerenciar os recursos por meio de uma produção mais enxuta, com vistas ao atendimento destes clientes de forma eficiente para fidelizar e atrair cada vez mais consumidores (CORRÊA; CORRÊA, 2004).

Com a natural tendência de abertura de mercado nas últimas décadas, as empresas enfrentam atualmente forte competitividade no cenário global. Com isso, para

garantir o atendimento das necessidades dos seus clientes e aprimorar sua lucratividade, as organizações vêm utilizando estratégias de administração da produção como forma de auxiliar na gestão e planejamento de seus processos produtivos e obter destaque e vantagem competitiva no cenário empresarial (RITZMAN E KRAJEWSKI, 2004).

Para isso, uma ferramenta de gestão operacional utilizada hoje é o planejamento e controle da produção (PCP), que segundo Slack et al. (2009), consiste em estabelecer o plano operacional para administração da produção, preocupando-se em gerenciar as atividades da operação produtiva de modo a satisfazer a demanda dos consumidores, operando continuamente. Além disso, o PCP também deve garantir o cumprimento da produção na quantidade certa e na data esperada.

No campo da gestão da produção, a metodologia JIT (*Just-in-Time*) vem sendo aprimorada e evoluindo para o chamado JIS (*Just-in-Sequence*), sistema de abastecimento que atende não só os itens necessários, na quantidade necessária e no momento necessário, mas também na sequência determinada (TROQUE e PIRES, 2003). Dessa forma, destaca-se o sequenciamento da produção, que consiste em ordenar as atividades ou instruções de trabalho que devem ser realizadas, detalhando o momento de início de cada uma e com quais recursos elas serão feitas, de forma que atendam a demanda (CORREA et al., 2006).

Nesse artigo considera-se um problema prático observado em uma fábrica de chicotes elétricos. Apesar de existir uma variação no processo de acabamento de um chicote elétrico, existem processos comuns de fabricação entre eles, que são o corte de cabos e a fixação de seus terminais elétricos. No cenário analisado, esses processos são concentrados em uma célula, a qual contém uma máquina automática de corte e crimpagem, que é o foco desse artigo. A máquina não possui um método de sequenciamento de produção pré-estabelecido, mas apesar de esse artigo estar analisando um caso de uma empresa específica, a busca por uma lógica de sequenciamento de produção é um objetivo comum entre as empresas industriais que buscam tornar seus produtos mais competitivos, otimizando assim seus processos produtivos e reduzindo o lead time (ISHII et al., 2011).

Dessa forma, o presente artigo tem como objetivo geral propor um modelo de sequenciamento de produção para uma máquina visando a redução de seu tempo total de *setup*. Dentre os objetivos específicos, propõe-se realizar a análise do processo de

corte e crimpagem atual realizado pela máquina automática e entender suas características, elaborar uma nova forma de sequenciamento lógica e padronizada de acordo com os parâmetros estabelecidos, bem como realizar simulações para avaliar os possíveis resultados desse algoritmo elaborado.

Nesse contexto, a redução do tempo total de *setup* da máquina de corte da empresa é útil para aumentar a capacidade da máquina e conseqüentemente da célula. Além de ganho de produtividade na máquina, a definição de ter uma ordem de produção bem definida também implica em um ganho no tempo útil do operador da máquina, o que implica em redução de custos de produção.

Como forma de atender aos padrões de seus clientes, que buscam produtos com custos e prazos de entrega menores possíveis, justifica-se o tema e objetivos do trabalho, visto que, como já afirmava Chiavenato (1994), todo controle operacional necessita de ação corretiva para que se possa chegar ao padrão desejado. Dessa forma, entende-se que com os objetivos atingidos, alcançam-se padrões melhores e corrige-se possíveis erros de percurso que evitam o alcance do que foi previsto inicialmente.

Este artigo está organizado da seguinte forma: após essa introdução, apresenta-se a seção 2 que está o referencial teórico, o qual traz uma base dos principais assuntos tratados no artigo. Após, na seção 3, encontram-se os procedimentos metodológicos utilizados, os quais apresentam de que forma foi realizada a comparação de um cenário atual com um cenário proposto. A seguir, encontra-se a seção 4, que indica os principais resultados esperados para a empresa. Por fim, conclui-se o artigo com uma discussão geral de seus principais resultados e de sugestões para próximos estudos.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Para consolidar uma base teórica dos assuntos tratados nesse artigo, é feita uma revisão na literatura. Aborda-se o conceito de sequenciamento da produção e de *setup*, bem como a relação deles e como é possível a busca da minimização do *setup* por meio de uma seqüência adequada.

2.1 Sequenciamento de produção e suas possibilidades

Absi e Kedad-Sidhoum (2008) destacam que a técnica de sequenciamento de produção já vem sendo estudada desde os anos 1950. Sua aplicabilidade pode ser

diversa, sendo útil tanto para um planejamento de logística de transportes como para produção de bens. O objetivo do sequenciamento é realizar a alocação de recursos ou atividades dentro de um período de tempo (DAVIS, 1990). O controle da produção coleta, ainda, dados referentes a informações da produção como horas trabalhadas, índice de refugos, quantidade de materiais utilizados, horas paradas e suas respectivas causas, além de avisar e reorganizar a produção no caso de algum imprevisto durante a produção que afetará a programação (MOURA JR., 1996).

Para organizar o sequenciamento da produção, Slack et al. (2009) e Tubino (1997) propõe algumas regras para auxiliar na determinação da ordem em que as tarefas são executadas. Essas regras estabelecem um meio lógico de saber qual produto terá prioridade na fila de processamento de um recurso. A tabela 1 apresenta algumas regras de priorização existentes.

Tabela 1 – Regras de priorização de filas de processamento de recursos

Nome da Regra	Definição
FIFO - <i>First in first out</i>	Processam-se os lotes de acordo com sua chegada no recurso;
<i>MTP – Menor Tempo de Processamento</i>	Prioridade ao lote de menor tempo de processamento no recurso;
<i>MDE – Menor Data de Entrega:</i>	Prioridade ao lote de menor data de entrega;
<i>IPI – Índice de Prioridade:</i>	A prioridade aos lotes é atribuída de acordo com um valor estabelecido ao produto ou ao cliente;
<i>ICR – Índice Crítico:</i>	Prioridade ao lote de acordo com o menor valor representado pela equação [(data de entrega) – (data atual) / (tempo de processamento)].

Fonte: Slack et. al (2009) e Tubino (1997)

Além dessas, há também algumas outras regras de priorização, como: prioridade ao consumidor mais importante; data de vencimento mais urgente; menor folga (tempo até a data de vencimento menos tempo total de produção restante); razão crítica (tempo até a data do vencimento dividido pelo tempo total de produção restante); e menor custo de preparação (SLACK et al., 2009).

Enfim, são inúmeras as possibilidades de condutas para se adotar e estabelecer o sequenciamento de ordens. Somente os objetivos da fábrica que poderão indicar quais são as regras mais apropriadas para o sequenciamento da produção.

2.2 Problemas de programação da produção

Morais e Mocellin (2010) descrevem que as restrições tecnológicas das atividades e os objetivos devem ser especificados nos problemas de programação da produção. A tabela 2 classifica alguns tipos de problemas de programação da produção a partir dos fluxos de processamento encontrados nos cenários produtivos:

Tabela 2 – Tipos de problemas de programação da produção

Problema	Definição
<i>Job shop</i>	Cada tarefa tem sua própria ordem de processamento nas máquinas;
<i>Flow shop</i>	Todas as tarefas têm o mesmo fluxo de processamento nas máquinas;
<i>Open shop</i>	Não há fluxo pré-determinado para as tarefas serem processadas nas máquinas;
<i>Flow shop</i> permutacional	Flow shop no qual a ordem de processamento das tarefas deve ser a mesma em todas as máquinas;
Máquina única	Existe apenas uma máquina a ser utilizada;
Máquinas paralelas	São disponíveis mais de uma máquina para as mesmas operações;
<i>Job shop</i> com múltiplas máquinas	Job shop no qual em cada estágio de produção existe um conjunto de máquinas paralelas;
<i>Flow shop</i> com múltiplas máquinas:	Flow shop no qual em cada estágio de produção existe um conjunto de máquinas paralelas.

Fonte: Moraes e Mocellin (2010) e Allahverdi et al., (2008).

2.3 Influência dos tempos de *setup* na eficiência do sistema produtivo

A complexidade dos estudos de sequenciamento da produção vem aumentando e uma das variáveis envolvida com o crescente interesse é o tempo de *setup* (SIMÕES et. al., 2015). Muitas vezes, o tempo de *setup* em uma sequência de produção não é considerado por ser irrelevante. Entretanto, segundo Barros e Mocellin (2004), quanto maior forem os tempos de *setup* em relação aos tempos de processamento da sequência de produção, maior é a tendência de o levarmos em consideração no ato da programação da produção, sempre levando em conta a disponibilidade de recursos, os custos de operações, o atendimento à demanda e a otimização do critério competitivo adotado.

Como já salientava Flynn (1987), o tempo total de *setup* está diretamente ligado à similaridade entre as tarefas processadas sucessivamente. Portanto, em uma ordem

sequencial de produção que visa a minimização dos tempos de *setup* em uma célula, quanto mais relacionada for a família de produtos produzidos sequencialmente, menor será o tempo total de *setup*.

2.4 Sequenciamento da produção com tempos de *setup* dependentes da sequência

Segundo Allahverdi et al. (1999), quando o tempo de *setup* depende tanto da tarefa que vai ser executada quanto da tarefa que foi executada no momento imediatamente anterior no mesmo recurso, este é caracterizado por ser um tempo de *setup* dependente da sequência. Barros e Moccellin (2004) corroboram com a definição e indicam certo impacto na programação da produção com problemas de tempos de *setup* assimétricos e dependentes da sequência.

Esse problema é tradicionalmente abordado na literatura como o modelo do Caixeiro Viajante (*Traveling Salesman Problem* – TSP). O problema trata de minimizar a distância total percorrida pelo viajante em n cidades visitadas, sem repetir nenhuma anterior, retornando à cidade de origem. Comparativamente ao sequenciamento, a sequência que minimiza os tempos de preparação e que atenda a todas as tarefas corresponde a encontrar ao roteiro ótimo no TSP (PIZZOLATO et al., 1999).

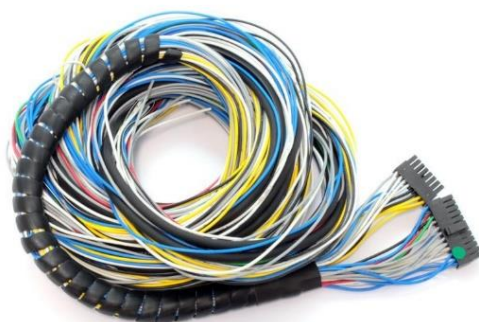
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Nessa seção são apresentados os procedimentos aplicados para a elaboração desse artigo, descrevendo brevemente o cenário de aplicação, as características do método de pesquisa e as características do método de trabalho.

3.1 Descrição do cenário

Como já foi mencionado, esse artigo foi aplicado em uma empresa que atua na fabricação de chicotes elétricos e montagens de produtos eletromecânicos em geral. Um chicote elétrico basicamente tem as funções de conduzir eletricidade e transferir informações, a fim de realizar a integração do sistema no qual ele está inserido. A figura 1 mostra um exemplo de chicote elétrico utilizado no ramo automotivo.

Figura 1: exemplo de chicote elétrico do ramo automotivo



Fonte: site da Fueltech¹

A empresa se encontra na cidade de Guaíba/RS, está há 17 anos no mercado e conta com cerca de 150 colaboradores. Seus chicotes elétricos possuem aplicações nas mais diversas áreas: refrigeradores, medidores de energia, elevadores, nobreaks, alarmes e rastreadores, motores, impressoras industriais, cozinhas industriais, agrícola, linha branca, quadros de comando e linha hospitalar. Com essa ampla diversidade nas aplicações de seu produto, a empresa trabalha com células de produção de montagem final customizadas, específicas para seus clientes e conforme as particularidades de cada projeto. Dessa forma, todos os pedidos realizados por seus clientes são sob encomenda e possuem um *lead time* padrão de entrega acordado entre cliente e fornecedor no momento de formalização do projeto.

Antes de o chicote passar para sua célula de montagem final específica, todos eles passam pela célula de corte e crimpagem, que é chamada pela empresa de Lead Prep. Nela, além da máquina automática, existem máquinas de corte manual e prensas manuais que realizam a crimpagem do terminal no cabo. Porém, a aplicação da padronização de sequenciamento de corte e crimpagem foi realizada somente na máquina automática, visto que é a máquina de maior produtividade da célula e que não possui nenhuma sequência lógica definida.

3.2 Caracterização do método de pesquisa

A abordagem de pesquisa tem enfoque qualitativo, pois possui um aprofundamento da compreensão da organização, trazendo dados não-numéricos para a análise. Quanto a natureza, é uma pesquisa aplicada porque faz uma aplicação prática

em formato de estudo de caso. Com base nos objetivos, a pesquisa tem enfoque exploratório, a qual busca proporcionar maior familiaridade com o problema, construindo hipóteses baseadas em levantamentos bibliográficos e entrevistas com pessoas envolvidas. Por fim, quanto aos procedimentos, a pesquisa terá o formato de estudo de caso, pois seu foco é em uma célula de produção de uma fábrica de chicotes elétricos existente no mercado.

3.3 Caracterização do método de trabalho

O trabalho foi realizado nas seguintes etapas: (1) problematização, a partir de entrevistas e análises do panorama geral da empresa; (2) revisão da literatura; (3) estudo de caso, registro e análise do cenário atual; (4) proposições de melhorias; (5) análises de possíveis resultados e conclusões.

Na etapa (1) foram realizadas três entrevistas com três gestores: o supervisor de planejamento, programação e controle da produção e materiais (PPCPM), o gerente de compras e de materiais e o gerente de manufatura. As entrevistas foram semiestruturadas, individuais e tinham o objetivo de coletar informações que facilitassem o entendimento dos principais problemas enfrentados pela organização. A partir disso, foi possível delimitar os objetivos do artigo e sua área de atuação.

Na etapa (2) ocorreu a revisão na literatura para entender o que já havia sido feito na teoria a respeito da problemática em questão. Dessa forma, foi possível encontrar referências para auxílio da resolução do problema descrito.

Após isso, na etapa (3), tinha-se como objetivo registrar e analisar como estava sendo feito o processo atual. Para isso, foi realizado um mapeamento de processos do sequenciamento atual e a análise de alguns dados para entendimento do panorama que estava em vigor. Por meio desse registro, foi possível promover análises comparativas entre o cenário atual e um cenário futuro que ainda seria elaborado e sugerido.

Após esses registros e análises, na etapa (4) desencadearam-se as proposições de melhorias, as quais foram elaboradas de acordo com os dados obtidos na etapa anterior. Aqui, esperava-se que o sequenciamento sugerido para a máquina fosse mais efetivo que o sequenciamento atual. A simulação de comparação ainda iria rodar na próxima etapa.

Por fim, na etapa (5), o objetivo foi realizar a simulação do sequenciamento elaborado na etapa anterior, bem como a análise de seus resultados. A metrificaco de análise definida foi a soma do tempo total de *setup* da máquina e o tempo total de produo da lista de corte pelos métodos atual e sugerido. Após essa análise, também seria realizada a conclusão dos resultados obtidos.

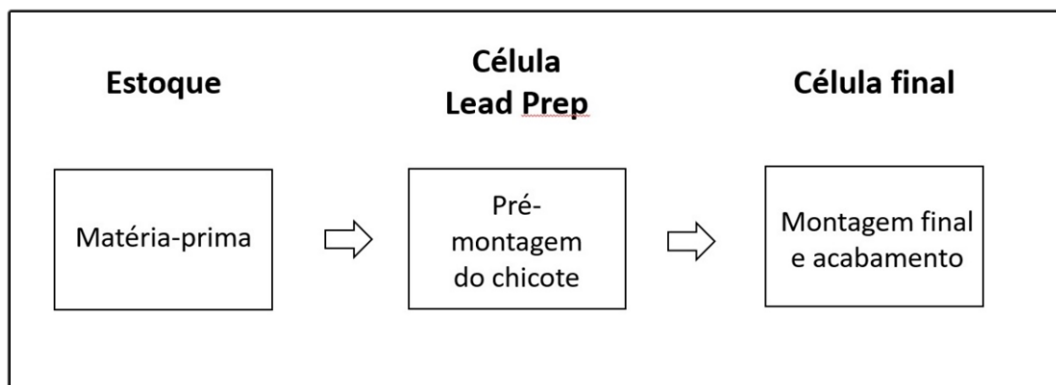
4. RESULTADOS

Essa seo apresenta primeiramente o contexto atual, detalhando o caso e trazendo as características de produo particulares do produto, o que  uma lista de corte, como a produo de PDs atual  sequenciada e seus problemas. Por ora, entende-se PD como um produto em processo. Após a apresentao e análise do processo atual, elabora-se um algoritmo de sequenciamento de produo que possui o objetivo de reduzir os tempos de *setup* da sequência. Esse algoritmo  elaborado de acordo com as falhas que o algoritmo de sequenciamento atual possui. Após a criao da nova forma de sequenciamento, realiza-se algumas simulaes, bem como a análise de seus possíveis resultados.

4.1 Descrio do caso

Ao realizar a análise do processo produtivo do chicote elétrico na empresa,  possível perceber que a célula Lead Prep se encontra na fase imediatamente anterior do processo de montagem final. A figura 2 mostra a representao simplificada do fluxo de fabricao do produto:

Figura 2: fluxo de fabricao simplificado de um chicote elétrico



Fonte: autor

O produto de saída da Lead Prep é chamado pela empresa de PD. Um PD é um produto em processo que consiste de um cabo cortado em um tamanho pré-definido, podendo ou não conter um terminal fixado em cada uma de suas pontas. Portanto, caso haja mudança no cabo (cor, tamanho de bitola, número de vias, entre outras possíveis), no terminal ou no tamanho de corte, há também uma mudança no PD. Como a empresa utiliza em sua maior parte um sistema de produção puxada, a Lead Prep produz somente os PDs que foram requisitados pelas células finais a partir de um pedido solicitado pelo cliente. A Tabela 3 apresenta a sequência de ocorrências desde que o cliente realiza o pedido para a empresa até o momento de saída do produto final.

Tabela 3 - Fluxo de informações até a produção do item solicitado pelo cliente

Ordem	Ocorrência
1	Cliente realiza um pedido sob encomenda
2	Pedido de Venda (PV) e Ordem de Produção (OP) são gerados no sistema da empresa
3	PCP programa as datas de produção dos produtos solicitados pelo cliente na OP. Cada produto tem sua célula de produção e sua data de entrega.
4	PCP junta produtos finais de famílias comuns e com datas de produção próximas e faz as solicitações de corte para a Lead Prep. Produtos explodem em PDs, que são os necessários para montagem dos itens escolhidos, e uma lista de corte é gerada com os PDs necessários para a produção de todos os itens.
5	Lead Prep corta os cabos e monta os PDs (produtos em processo) solicitados na lista de corte de acordo com a data de produção do produto final que já havia sido determinada pelo PCP
6	Enquanto vão sendo produzidos, os PD vão sendo destinados às suas células de produção, que realizam a montagem final e o acabamento do item
7	Produtos finais são encaminhados à expedição

Fonte: autor

Vale ressaltar que o escopo do artigo não inclui como as listas de corte são elaboradas. Portanto, não será detalhado como o PCP seleciona os produtos para juntar em uma mesma lista de corte, mas é importante saber os critérios utilizados, que são: 1) selecionar produtos de mesma família, o que já é definido pela célula (produtos de uma mesma célula são considerados da mesma família); e 2) selecionar produtos com datas de montagem final (que é chamado no artigo como data de produção) próximas. Então, em resumo, uma lista de corte tende a aglobar produtos de mesmas famílias e com datas de produção próximas.

4.2 Sequenciamento de listas de corte

Após o PCP definir a data de produção dos itens, juntar itens para a elaboração de uma lista de corte e entregar essa lista para a Lead Prep com a solicitação de produção dos PDs desses itens para uma data definida, chega o momento de produção dos PDs da lista de corte pela Lead Prep. Aqui, cabe mencionar que uma lista de corte possui itens que são produzidos na máquina automática de corte e crimpagem e também possui itens produzidos nas máquinas e prensas manuais. Como o escopo desse artigo cobre somente a produção dos itens da máquina automática – que são cerca de 75% do volume de cortes da empresa, segundo o gerente de manufatura –, a partir de agora, sempre que forem mencionados os PDs da lista de corte, entende-se que sejam somente os PDs produzidos na máquina automática, visto que os PDs produzidos nas máquinas manuais não entram no relatório e são excluídos da discussão.

Portanto, nesse momento, já é possível definir duas características dos PDs dado que estejam em uma mesma lista de corte: 1) todos eles possuem a mesma data de entrega, visto que, como já foi mencionado, para uma lista de corte ser gerada é necessário englobar produtos finais com datas de entregas próximas. Assim, por padronização na empresa, definiu-se que a data de entrega dos PDs de uma lista de corte é igual a data de necessidade dos PDs para produção do item mais urgente; e 2) todos eles possuem o mesmo processo produtivo – corte do cabo em um tamanho específico e crimpagem dos terminais, tudo isso feito em uma mesma máquina, que é a máquina automática. Essas duas características são fundamentais para a elaboração de uma lógica de sequenciamento de produção da lista de corte, visto que, segundo Corrêa (2011), as principais variáveis influentes no sequenciamento da produção são: data de entrega, quantas operações faltam para terminar e se existem tipos de *setups* similares. Como as duas primeiras variáveis nesse caso são constantes, a terceira variável, que é a junção de *setups* similares, se torna a variável determinante na elaboração do sequenciamento de produção.

4.3 Descrição do processo atual

Para entender como estava sendo praticado o sequenciamento de corte e crimpagem dos PDs pela máquina automática, foi observado como era feito o processo atual. Essa máquina é manipulada por um operador fixo, todos os dias, durante todo seu expediente (8h48min). Portanto, para visualizar o processo atual, basta mapear as

sequências de produção realizadas pelo operador durante um intervalo de tempo definido.

Assim, foi observada a rotina de trabalho do operador durante a realização de 4 listas de corte. A tabela 4 mostra as atividades (não necessariamente em ordem) realizadas pelo operador, desde o momento que ele pega a lista até o fim da produção, com seus respectivos tempos médios de duração e frequências de realização.

Tabela 4 - Tempo e frequência de atividades para a produção de uma lista de corte

Atividade	Duração média	Frequência
Avaliação da lista de corte e planejamento da sequência de produção	Variável: 3 a 5min	Uma vez, no início de cada produção da lista
Inserção de aplicador da máquina	3,5min	Sempre que necessário
Retirada de aplicador da máquina	3,5min	Sempre que necessário
Inserção de bobina de cabo da máquina	1,5min	Sempre que necessário
Retirada de bobina de cabo da máquina	1min	Sempre que necessário
Ajuste dos parâmetros de corte da máquina	1min	A cada troca de PDs, seja devido a alteração de aplicador, tamanho de corte ou tipo de cabo

Fonte: autor

Ao iniciar a produção de uma lista de corte, o operador em primeiro lugar avalia a lista e busca alguma combinação inicial para dar início à produção de acordo os cabos e terminais que compõe os PDs da lista – ao encontrar cabos ou acabamentos com terminais comuns nos PDs, ele consegue evitar *setups* de trocas de bobinas e de aplicadores. Essa avaliação inicial é importante porque o operador não necessariamente produz de acordo com a sequência que foi lhe passada na lista, pois intuitivamente ele sabe, por estar há algum tempo operando na máquina, que pode encontrar uma melhor sequência de produção em relação a que foi lhe passada.

Ao todo, existem 20 tipos de aplicadores que podem ser utilizados pela máquina automática, cada um utilizado para um tipo de acabamento com terminal diferente.

Todos eles possuem duas ou mais unidades na empresa para o caso de precisar crimpar algum PD com dois acabamentos feitos por terminais iguais. Já de cabos, o número de variedades é maior. Estima-se, pelo gerente de manufatura, que sejam cerca de 300 modelos diferentes, apesar de existirem aqueles cujas utilizações sejam mais comuns. Dessa forma, percebe-se que para minimizar o período em que a máquina automática fica ociosa devido a tempo de *setup*, deve-se priorizar a sequência de produção daqueles PDs os quais tenham acabamentos comuns para evitar as trocas de aplicadores. No entanto, na entrevista realizada com o gerente de manufatura, foi informado que o a programação de sequenciamento de produção de PDs pela máquina automática havia sido feita em um momento que o tempo de *setup* para a troca de uma bobina de cabo era maior que o atual. Portanto, a priorização para evitar troca de aplicador em relação à troca de bobina de cabo não ocorria e ambos eram tratados quase da mesma forma. Com o passar do tempo, diminuiu-se o tempo de *setup* de bobina de cabo, mas o sequenciamento de produção da máquina automática permaneceu o mesmo. Por conseguinte, o operador construiu certa liberdade para alterar a sequência de produção de PDs da lista de corte, visto que já era considerada ultrapassada.

Levando em conta os fatos abordados, avaliou-se as percepções do operador. No momento de produção das listas, foi possível perceber que o operador tem consciência de que o *setup* do aplicador é mais demorado que o *setup* do cabo. Entretanto, apesar de intuitivamente ele priorizar a sequência de PDs com aplicadores comuns em relação aos cabos, muitas vezes ele não enxerga como deve ser sequenciado para evitar esses *setups*. Assim, grande parte das vezes ele acaba seguindo a sequência da lista que é lhe passada.

4.4 Elaboração do algoritmo de sequenciamento

Nesse momento, após a avaliação de que o processo atual precisa de reparos e quais são esses reparos, iniciou-se a elaboração do novo sequenciamento de produção de PDs da lista de corte. As considerações iniciais foram: 1) um *setup* de troca de aplicador demora quase três vezes mais tempo que um *setup* de troca de bobina de cabo. Portanto, é necessário priorizar a sequência de produção cujos PDs possuem o mesmo tipo de acabamento para evitar ao máximo os *setups* de aplicadores; 2) ao definir os PDs com acabamentos comuns, o sequenciamento entre esses PDs será pelos cabos comuns para evitar *setup* de troca de bobina; 3) o tempo que o operador leva para realizar ajustes de parâmetros de corte da máquina a cada troca de PD não será levado em consideração

na hora de elaborar o sequenciamento de produção, pois dado que temos um número fixo de PDs em uma lista, os ajustes de parâmetros são feitos da mesma forma em qualquer sequência e na prática ele fica muito próximo de ser constante.

Tendo em vista essas considerações iniciais, elaborou-se um algoritmo de sequenciamento de produção de PDs pela máquina automática. Esse algoritmo é definido em 7 etapas que se repetem até ser determinado o sequenciamento.

Etapa 1: elaboração de um ranking de quais acabamentos mais se repetem em cada PD, independente se são do lado 1 ou lado 2. Esse ranking será útil para ordenar os aplicadores do mais utilizado ao menos utilizado e servirá como parâmetro de definição de sequência para algumas etapas à frente. A tabela 5 ilustra um ranking com números de uma lista de corte real.

Tabela 5 - Exemplo real de ranking de acabamentos de terminais mais utilizados

Terminal	Repetições
880642-2	17
880643-2	10
350922-3	10
881111-1	9
881109-1	7
180464-2	7
ZV3MA0040	6
ZV3MA0039	5
3-770476-1	4
626030-2	2
160871-6	2
626034-2	2
ZV3AE0560	2

Fonte: autor

Etapa 2: o primeiro aplicador do ranking é fixado no que será chamado de lado 1 – lado que possui espaço para fixar o aplicador que produz PDs com o acabamento 1. Teoricamente, para a minimização de *setups* de troca de aplicadores, tanto faz qual é o aplicador que será fixado em primeiro, pois todos eles serão fixados em algum momento. No entanto, ao fixar por primeiro o aplicador que realiza o acabamento utilizado no maior número de PDs diferentes, o início da produção da lista tende a fluir mais, o que dá mais tempo ao operador para analisar a lista de corte atual e realizar os *pré-setups* dos cabos e aplicadores que serão utilizados na sequência.

Etapa 3: são produzidos todos os PDs com acabamento do terminal que é crimpado pelo aplicador fixado na etapa anterior que não possuem nenhum terminal no lado 2 – lado que possui espaço para fixar o aplicador que produz PDs com o acabamento 2. Dentro desse grupo, a ordenação de produção é feita sequenciando os PDs que utilizam o mesmo cabo. Essa sequência é utilizada para que o operador não precise incluir um segundo aplicador e já possa sair produzindo os PDs de um acabamento só. Assim, ao fixar o primeiro aplicador, já é possível iniciar-se a produção. Após isso, a sequência de produção segue de acordo com o tipo de cabo utilizado. Todos os PDs com o mesmo cabo são juntados e produzidos em sequência para assim minimizar o número de *setups* de trocas de cabos. A tabela 6 apresenta um exemplo real de início de sequenciamento ilustrando a etapa 3:

Tabela 6 - Continuação de exemplo de sequenciamento real com ilustração da etapa 3

PD	Descrição/Código	Acabamento 1	Acabamento 2	Ordem
13688(A)	COND C.F 1,0 VD/AM 750V 105°C	880642-2		1
				...

Fonte: autor

Etapa 4: fixa-se no lado 2 o mesmo aplicador que está fixado no lado 1, se houver essa combinação de PDs para serem produzidos. Dentro desse grupo, da mesma forma que na etapa 2, a ordenação se dá de acordo com a utilização de cabos iguais. Essa padronização de sequência é feita para utilizar os mesmos parâmetros de máquina do aplicador 1 no aplicador 2. Com isso, replicando o parâmetro que já está sendo utilizado no aplicador 1 na máquina, o operador consegue ganhar algum tempo de programação de parâmetros da máquina. A Tabela 7 apresenta a continuação do exemplo ilustrando a etapa 4.

Tabela 7 - Continuação do exemplo real com ilustração da etapa 4

PD	Descrição/Código	Acabamento 1	Acabamento 2	Ordem
11172(A)	COND C.F 1,0 VD/AM 750V 105°C	880642-2	880642-2	2
6716(A)	COND C.F 1,5 VD/AM 750V 105°C	880642-2	880642-2	3
6720(A)	COND C.F 1,5 VD/AM 750V 105°C	880642-2	880642-2	4

Fonte: autor

Etapa 5: após isso, retira-se o aplicador do lado 2 e verifica-se quais dos acabamentos utilizados em PDs ainda pendentes possuem combinações tanto com o aplicador do acabamento 1 quanto com outros aplicadores que ainda faltam serem fixados. Os aplicadores que se encaixam nesse critério possuem os PDs com potencial para serem encaixado no final da sequência de crimpagens do aplicador do acabamento 1 e serem mantidos no acabamento 2, iniciando a sua sequência. Assim, é possível evitar mais um *setup*. A tabela 8 apresenta um exemplo de caso ilustrativo dessa etapa.

Tabela 8 - Continuação do exemplo real, terminais que se encaixam no critério da etapa 5

Terminal	Repetições
880643-2	10
881109-1	7
ZV3MA0040	6

Fonte: autor

No exemplo das tabelas 6, 7 e 8, o aplicador que está fixado no lado 1 é o do acabamento 880642-2. Na etapa 5, conforme a tabela 8, definiram-se aqueles com potencial para terminarem a sequência.

No exemplo da imagem, o aplicador do acabamento 350922-3 é o primeiro aplicador a ser fixado no acabamento 2. Como o aplicador do acabamento 881111-1 possui combinação de PDs tanto com o aplicador do acabamento que já estava fixado (350922-3) quanto com algum aplicador de outro acabamento (nesse caso, 3-770476-1), a sequência de produção dos PDs com o aplicador do acabamento 350922-3 deixou o aplicador do acabamento 881111-1 por último para ser fixado no acabamento 1, economizando um *setup* de troca de aplicador.

Etapa 6: Após a definição do grupo de aplicadores com potenciais para serem fixados ao fim da sequência atual, é escolhido um desses aplicadores que atendem o critério da etapa 5 para efetivamente ser o aplicador que fecha a sequência. A escolha é definida pelo ranking utilizado na etapa 1 – o mais aplicador que crimpa o acabamento o qual está mais alto no ranking fecha a sequência. Teoricamente, qualquer um dos aplicadores pertencentes a esse grupo definido na etapa anterior pode ser escolhido que não muda o número de *setups* de aplicadores da sequência final. No entanto, como é necessário escolher um critério para seguir a sequência, seguindo o exemplo real e o critério estabelecido, o aplicador escolhido é o do terminal 880643-2 (conforme tabela 6). Na tabela 9, ilustra-se a etapa 6 seguindo o exemplo.

Tabela 9 - Continuação do exemplo real com ilustração da etapa 6

PD	Descrição/Código	Acabamento 1	Acabamento 2	Ordem	
15909(A)	COND C.F 1,0 VD/AM 750V 105°C	880642-2	881109-1	13	Economização de um <i>setup</i>
6839(A)	COND C.F 2,5 VD/AM 750V 105°C	880642-2	880643-2	14	
2176(A)	COND C.F 1,0 VD/AM 750V 105°C	880643-2	880643-2	15	
7107(A)	COND C.F 1,0 VD/AM 750V 105°C	880643-2	880643-2	16	

Fonte: autor

Etapa 7: Assim que foram definidos os PD com acabamentos do início e do fim da sequência, deve-se definir os aplicadores que compõe o restante da sequência. Teoricamente, a lista pode seguir qualquer sequência de aplicadores, pois já foram definidos todos os PDs que serão produzidos nesse momento e não há mais como aproveitar nenhum *setup* de aplicador. No entanto, assim como na etapa 2 e 6, é necessário estabelecer um critério para a composição do sequenciamento e o critério estabelecido novamente é o ranking. Os aplicadores que crimpam os acabamentos que aparecem em um maior número de PDs vem por primeiro da lista, e segue-se assim por diante por ordem decrescente. A tabela 10 ilustra essa etapa seguindo o exemplo.

Tabela 10 - Continuação do exemplo real com ilustração da etapa 7

PD	Descrição/Código	Acabamento 1	Acabamento 2	Ordem
7142(A)	COND C.F 2,5 VD/AM 750V 105°C	880642-2	626034-2	5
6365(A)	COND C.F 2,5 VD/AM 750V 105°C	880642-2	626034-2	6
6713(A)	COND C.F 1,5 MR 750V 105°C	ZV3MA0040	880642-2	7
6717(A)	COND C.F 1,5 MR 750V 105°C	ZV3MA0040	880642-2	8
6714(A)	COND C.F 1,5 PT 750V 105°C	ZV3MA0040	880642-2	9
6718(A)	COND C.F 1,5 PT 750V 105°C	ZV3MA0040	880642-2	10

6715(A)	COND C.F 1,5 VM 750V 105°C	ZV3MA0040	880642-2	11
6719(A)	COND C.F 1,5 VM 750V 105°C	ZV3MA0040	880642-2	12

Fonte: autores

Nesse momento, roda-se novamente o algoritmo, voltando para a etapa 1 e elaborando um novo ranking para definir o próximo aplicador fixado de acordo com os PDs pendentes. O ciclo é repetido até que todos os PDs estejam sequenciados.

Seguem algumas considerações sobre o algoritmo: 1) Quando é mencionado "lado 1" ou "lado 2", não quer dizer que o aplicador esteja realmente sendo fixado no lado indicado, pois o lado que o terminal está fixado não muda em nada no PD. Da mesma forma, a máquina automática também não diferencia os lados de crimpagem. Portanto, as nomenclaturas dos acabamentos são somente para fins didáticos no artigo; 2) se ocorrer empate no ranking de aplicadores mais fixados, o aplicador escolhido para ser fixado será definido aleatoriamente; 3) conforme já mencionado anteriormente, quando ambos lados já estiverem com aplicadores fixados e houver mais de um PD para ser produzido, a primeira ordenação da sequência é feita pela bobina de cabo fixada na máquina. Quando houver mais de um PD com o mesmo cabo fixado, ordena-se pela quantidade de PDs produzidos – quanto mais PDs produzidos, mais cedo ele é na sequência.

4.5 Simulação do algoritmo e análise de seus resultados

Após a consolidação do algoritmo, chega o momento de testá-lo em uma simulação realizada no próprio sistema de informação da empresa que foi desenvolvido e continua sendo aprimorado sempre que necessário por uma empresa especializada nesse tipo de serviço. Dessa forma, foi possível inserir o algoritmo no sistema e simular quantos *setups* haviam nas listas de cortes da forma antiga e nova. O exemplo contido nas tabelas da seção 4.4 foi um caso real de uma simulação que ocorreu na maior lista de corte do mês de outubro. A lista possuía 989 PDs diferentes, os quais eram necessários para a produção de 22 produtos finais diferentes. Os resultados das comparações dessa lista específica é apresentado na tabela 11.

Tabela 11 - Resultados da comparação de métodos de sequenciamento para uma lista de corte

Metodologia de sequenciamento	Quantidade de <i>setups</i> de trocas de aplicadores	Quantidade de <i>setups</i> de trocas de cabos	Tempo de duração total de <i>setup</i> (h)
<i>Critério de sequenciamento atual</i>	126	124	15,68
Critério de sequenciamento modificado	71	172	12,24
Duração do <i>setup</i> completo (min)	5,5	2	
Redução de tempo total de <i>setup</i>	21,94%		

Fonte: autor

Como é possível perceber, na simulação do novo algoritmo de sequenciamento, obteve-se uma redução do tempo total de *setup* da máquina automática na produção da maior lista de corte do mês de outubro de 21,94%. Esse resultado é significativo por si só, visto que quanto maior for a lista de corte para rodar a simulação, mais assertivo tende a ser o resultado da simulação.

Além dessa simulação, também foram realizadas mais 11 simulações com listas de cortes variadas entre produtos de clientes diferentes e tamanhos de listas diferentes e os resultados são apresentados na tabela 12.

Tabela 12 - Simulações de comparação do sequenciamento novo com o sequenciamento atual

Simulação 1	Qtd <i>setups</i> de aplicadores	Qtd <i>setups</i> de cabos	Tempo total (h)
Lista atual	48	46	5,93
Lista modificada	32	59	4,91
redução total			17,31%
Simulação 2	Qtd <i>setups</i> de aplicadores	Qtd <i>setups</i> de cabos	Tempo total (h)
Lista atual	33	35	4,19
Lista modificada	26	43	3,78
redução total			9,92%
Simulação 3	Qtd <i>setups</i> de aplicadores	Qtd <i>setups</i> de cabos	Tempo total (h)
Lista atual	12	7	1,33

Lista modificada	11	7	1,26
redução total			5,47%
Simulação 4	Qtd <i>setups</i> de aplicadores	Qtd <i>setups</i> de cabos	Tempo total (h)
Lista atual	19	14	2,21
Lista modificada	17	15	2,04
redução total			7,59%
Simulação 5	Qtd <i>setups</i> de aplicadores	Qtd <i>setups</i> de cabos	Tempo total (h)
Lista atual	25	25	3,13
Lista modificada	21	29	2,90
redução total			7,20%
Simulação 6	Qtd <i>setups</i> de aplicadores	Qtd <i>setups</i> de cabos	Tempo total (h)
Lista atual	15	11	1,74
Lista modificada	14	12	1,63
redução total			6,13%
Simulação 7	Qtd <i>setups</i> de aplicadores	Qtd <i>setups</i> de cabos	Tempo total (h)
Lista atual	44	47	5,60
Lista modificada	30	61	4,84
redução total			13,58%
Simulação 8	Qtd <i>setups</i> de aplicadores	Qtd <i>setups</i> de cabos	Tempo total (h)
Lista atual	22	18	2,62
Lista modificada	19	20	2,40
redução total			8,22%
Simulação 9	Qtd <i>setups</i> de aplicadores	Qtd <i>setups</i> de cabos	Tempo total (h)
Lista atual	60	55	7,33

Lista modificada	35	74	5,72
redução total			21,98%
Simulação 10	Qtd <i>setups</i> de aplicadores	Qtd <i>setups</i> de cabos	Tempo total (h)
Lista atual	22	20	2,68
Lista modificada	19	23	2,49
redução total			7,03%
Simulação 11	Qtd <i>setups</i> de aplicadores	Qtd <i>setups</i> de cabos	Tempo total (h)
Lista atual	31	27	3,74
Lista modificada	24	32	3,29
redução total			11,95%

Fonte: autor

A partir dessas simulações, foi possível unificá-las e somar os resultados dos tempos de *setup*, assim, obtendo-se um resultado final. Esse resultado somado dessas 11 simulações é apresentado na tabela 13.

Tabela 13 - Resultado final de todas as simulações realizadas com as listas de corte

Junção de todas simulações	Qtd. <i>setups</i> de trocas de aplicadores	Qtd. <i>setups</i> de trocas de cabos	Tempo de duração total de <i>setup</i> (h)
Soma do número de <i>setups</i> das listas atuais	331	305	40,51
Soma do número de <i>setups</i> das listas modificadas	248	376	35,27
Redução total			12,93%

Fonte: autor

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao fim das simulações realizadas, foi possível perceber que a nova sequência de produção proposta foi efetiva e cumpriu seu papel em todos os cenários analisados. Com o já mencionado aumento de competitividade, as ferramentas que possuem um melhor aproveitamento de recursos que já estão dentro da empresa se tornam importantes para reduzir custos de forma eficiente.

Apesar de as simulações terem atingido resultado favorável em todas as listas analisadas, foi possível perceber que o desvio padrão da redução de *setups* também foi significativo. Enquanto o resultado obtido na simulação nove foi de uma redução de 21,98% de redução de tempo de *setup*, na simulação três foi de apenas 5,47%. Isso indica que, apesar de ter ocorrido redução em todos os casos, algumas reduções podem ser significativamente maiores em uma lista quando comparada com outra.

Por fim, a redução de tempo ocioso total foi de 12,93% na amostra realizada. Dessa forma, se esse resultado se mantiver acima ou próximo disso na prática, a implementação desse novo sequenciamento precisa ser realizada o mais rápido possível, visto que reduções de *setup* em uma máquina gargalo da empresa implica em mais produtividade da máquina e conseqüentemente mais capacidade produtiva para a empresa, além de reduções de custos por deixar de aproveitar os recursos da melhor forma.

Uma limitação importante do trabalho foi o fato de não ser possível mapear exatamente a forma com que o operador da máquina estava fazendo o *setup*, visto que não havia nada escrito e nenhum passo a passo a ser seguido. Portanto, a cada vez ele poderia fazer de uma forma um pouco diferente da outra, o que pode ter prejudicado um pouco a análise dos resultados finais do artigo. No entanto, é claro o benefício gerado por entregar uma lista de corte já sequenciada para o operador, visto que, além de já estar sequenciado da melhor forma, ele deixa de perder tempo precisando fazer análises da forma que ele irá sequenciar a produção.

Como sugestões para próximos estudos, é possível citar um estudo nessa mesma máquina que envolvesse a Troca Rápida de Ferramentas (TRF), a qual serviria para diminuir os tempos de *setup* de cada troca. Como o número de trocas de cabos e aplicadores são consideráveis, possivelmente também haveria uma redução significativa no tempo total de *setup* na produção de cada lista de corte, beneficiando ainda mais a empresa.

REFERÊNCIAS

¹ disponível em: < <https://www.fueltech.com.br/chicote-ft500-3m-prod-672.html>>
Acesso em jun. 2017.

ABSI, N.; KEDAD-SIDHOUM, S. **The multi-item capacitated lot-sizing problem with setup times and shortage cost**. European Journal of Operational Research, v. 185, p. 1351-1374, 2008.

ALLAHVERDI, A.; GUPTA, J.N.D.; ALDOWAISAN, T. **A review of scheduling research involving setup considerations**. Omega – The International Journal of Management Science, v.27, n.2, p.219-239, April 1999.

ALLAHVERDI, A.; NG, C.T.; CHENG, T.C.E.; KOVALYOV, M.Y. **A survey of scheduling problems with setup times or costs**. European Journal of Operational Research, v.187, n.3, p.985-1032, June 2008.

CHIAVENATO, Idalberto. **Administração: teoria, processo e prática**. 2. Ed. São Paulo: Makron Books, 1994.

CORREA, H; CORRÊA, Carlos. **Administração de produção e operações: manufatura e serviços: uma abordagem estratégica**. São Paulo: Atlas, 2004.

CORREA, Henrique Luiz; GIANESI, Irineu G. Nogueira; CAON, Mauro. **Planejamento, Programação e Controle da Produção**. São Paulo: Atlas, 2006.

Davis, S.G. **Scheduling Economic Lot Sizing Productions Runs**. Management Science, v. 36, p. 985-998, 1990.

FLYNN, B.B. **The effects of setup time on output capacity in cellular manufacturing**. International Journal of Production Research, v.25, n.12, p.1761-1772, 1987.

ISHII, F.T.; GALDAME, E.V.C.; LEAL, G.C.L.; DORTA, R.P.; DIAS, A.L.L.S. **Ensino de Planejamento e Controle da Produção como ferramenta para inclusão social. Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, v.6, n.4, p.157-167, 2011.

MORAIS, M.F.; MOCCELLIN, J.V. **Métodos heurísticos construtivos para redução do estoque em processo em ambientes de produção flow shop híbridos com tempos de setup dependentes da sequência**. Gestão & Produção, v.17, n.2, p.367-375, 2010.

MOURA JÚNIOR, A. N. C. de. **Novas Tecnologias e Sistemas de Administração da Produção – Análise do Grau de Integração e Informatização nas Empresas Catarineses**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1996. Disponível em <<http://www.eps.ufsc.br>>. Acesso em jul.2017.

PIZZOLATO, N.D.; VÁSQUEZ, S.G.G.; D'ÁVILA, S.L.G. **O problema do seqüenciamento da produção em uma indústria química: avaliação de uma aplicação real.** Gestão & Produção, v.6, n.1, p.16-29, Abr. 1999.

RITZMAN, Larry P.; KRAJEWSKI, Lee J. **Administração da produção e operações.** São Paulo: Pearson, 2004.

SIMÕES, W. L., VECCHIA, R. D., DASILVA, M. G., **Proposição de um modelo de otimização para programação da produção em Sistema Flexível de Manufatura (FMS) com tempos de setup dependentes da seqüência: a combinação de esforços em sequenciamento e tempos de preparação na indústria eletrônica.** Produto & Produção, vol. 16 n.1, p. 81-99, mar. 2015.

SLACK, N.; CHAMBERS, S. & JOHNSTON, R. **Administração da Produção.** 3. ed. Editora Atlas, São Paulo, 2009

TROQUE, W.A.; PIRES, S.R.I. **Influência das práticas da Gestão da Cadeia de Suprimentos na Gestão da Demanda.** XXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção - ENEGEP, Ouro Preto, MG, 2003. Disponível em: <www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2003_TR0706_1501.pdf>. Acesso em jun.2017.

TUBINO, Dalvio, F., 1997, **Manual de Planejamento e Controle da Produção.** 1ª ed. São Paulo, Editora Atlas.