

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE GESTÃO E ECONOMIA
ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA DA PRODUÇÃO

JOHN HERBERT TESCHNER

**APLICAÇÃO DA TEORIA DAS RESTRIÇÕES (TOC) NA IDENTIFICAÇÃO DE
GARGALOS EM UMA LINHA DE PRODUÇÃO DE TRANSFORMADORES.**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA

2020

JOHN HERBERT TESCHNER

**APLICAÇÃO DA TEORIA DAS RESTRIÇÕES (TOC) NA IDENTIFICAÇÃO DE
GARGALOS EM UMA LINHA DE PRODUÇÃO DE TRANSFORMADORES.**

Trabalho de Conclusão de Curso de Especialização
apresentado como requisito parcial para a obtenção
do título de Especialista em Engenharia da
Produção.

Orientador: Dr. Tiago Rodrigues Weller

CURITIBA

2020

TERMO DE APROVAÇÃO

APLICAÇÃO DA TEORIA DAS RESTRIÇÕES (TOC) NA IDENTIFICAÇÃO DE GARGALOS EM UMA LINHA DE PRODUÇÃO DE TRANSFORMADORES.

Esta monografia foi apresentada no dia 31 de outubro de 2020, como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Engenharia da Produção – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O candidato John Herbert Teschner apresentou o trabalho para a Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após a deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Dr. Tiago Rodrigues Weller
Orientador

Msc. Sérgio Zagonel
Banca

Msc. Egon Bianchini Calderari
Banca

Dra. Luciana Vieira de Lima
Banca

Visto da coordenação:

Prof. Dr. Paulo Daniel Batista de Sousa

Dedico este trabalho a minha esposa e a minha filha. A WEG por ter me dado a oportunidade de cursar esta especialização e a minha família que, mesmo durante os momentos mais difíceis, sempre me apoiou nos meus estudos. Agradeço do fundo do meu coração.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela minha vida, e por me permitir ultrapassar todos os obstáculos encontrados ao longo da realização deste trabalho.

A minha família, minha esposa Odete e minha filha Natália, que me incentivaram nos momentos difíceis e compreenderam a minha ausência enquanto eu me dedicava à realização deste trabalho.

Aos professores, por todos os conselhos, pela ajuda e pela paciência com a qual guiaram o meu aprendizado.

Às pessoas e colegas de curso com quem convivi ao longo destes 2 anos de curso, que me incentivaram e que certamente tiveram impacto na minha formação acadêmica.

A todos da empresa WEG, em especial ao meu gerente Airton Ajudarte, pelo apoio e incentivo na realização desta especialização e pelo fornecimento de dados e materiais que foram fundamentais para o desenvolvimento da pesquisa que possibilitou a realização deste trabalho.

*“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu,
mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre aquilo
que todo mundo vê.”*
(Arthur Schopenhauer)

RESUMO

TESCHNER, John Herbert. **Aplicação da teoria das restrições (TOC) na identificação de gargalos em uma linha de produção de transformadores.** 2019. 43 f. Monografia. (Especialização em Engenharia da Produção) – Departamento de Gestão e Economia - DAGEE, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

O trabalho a seguir é um estudo baseado no tema *TOC*, teoria das restrições, que visa a identificação de gargalos de produção no setor da Bobinagem de Força, onde são enroladas as bobinas de fios de cobre dos transformadores elétricos de alta potência. Este estudo buscou identificar estes gargalos para obter como objetivo a redução de tempos de fabricação destes enrolamentos, devido ao alto valor agregado no tempo de sua fabricação, através de alternativas simples e econômicas para retirar dos gargalos trabalhos ou processos que possam ser realizados por mão-de-obra mais barata e fora das máquinas de enrolamento. Neste estudo foram analisadas máquinas bobinadeiras verticais, utilizando os dados obtidos diretamente no processo e nos sistemas da empresa, SAP, métodos e processos e no PPCP. Desta forma, foi possível identificar os gargalos e as operações que agregam, ou não, valor ao processo. Finalmente, analisando a situação atual do processo e aplicando os conhecimentos obtidos da teoria das restrições, foi possível a implementação de melhorias que resultaram na redução de custos de produção e aumento da capacidade de hora/máquina.

Palavras-chave: Gargalo de produção. TOC. Redução de tempo de fabricação.

ABSTRACT

TESCHNER, John Herbert. **Application of the theory of restrictions (TOC) in the identification of bottlenecks in a transformer production line.** 2019. 43 f. Monografia. (Especialização em Engenharia da Produção) – Departamento de Gestão e Economia - DAGEE, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

The following work is a study based on the theme *TOC*, theory of restrictions, which aims to identify production bottlenecks in the Power Winding sector, where the copper wire coils of high-power electrical transformers are wound. This study sought to identify these bottlenecks to obtain the objective of reducing the manufacturing times of these windings, due to the high added value in the time of their manufacture, through simple and economical alternatives to remove from the bottlenecks jobs or processes that can be performed cheaper labor and outside winding machines. In this study, vertical winding machines were analyzed, using the data obtained directly in the process and in the company's systems, SAP, methods and processes and in the PPCP. In this way, it was possible to identify the bottlenecks and the operations that add, or not, value to the process. Finally, by analyzing the current situation of the process and applying the knowledge obtained from the theory of restrictions, it was possible to implement improvements that resulted in a reduction in production costs and an increase in hourly / machine capacity.

Keywords: Production bottlenecks. TOC. Reducing manufacturing times

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Exemplo básico de transformador com enrolamentos primário e secundário	18
Figura 2 Os 5 passos da TOC	21
Figura 3 Foto da WEG Transformadores de Blumenau	25
Figura 4 Foto da seção de Bobinagem de Força	26
Figura 5 Foto de molde expansível	27
Figura 6 Foto de kit sobre molde expansível em máq.vertical.	28
Figura 7 Foto de carretéis de fio de cobre	29
Figura 8 Início da colocação de anéis de desvio interno	30
Figura 9 Foto de bobina com anéis de desvio externos	30
Figura 10 Fluxograma do processo de produção de Bobinas	31
Figura 11 Bobinadeiras horizontal para 6 toneladas	33
Figura 12 Anel zig zag externo	35
Figura 13 Anel zig zag interno	35
Figura 14 Bobina com anéis de desvio externos	35
Figura 15 Área de solda, onde serão colocados os anéis de desvio de óleo	38
Figura 16 Novo fluxograma do processo de produção de Bobinas	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Total de colaboradores por turno na seção de bobinagem	26
Tabela 2: Tabela de produção programada da bobinagem de janeiro à agosto de 2019	36
Tabela 3: Tempo de preparo e colocação dos anéis externos	37
Tabela 4: Resultados obtidos após transfer.do posto de colocação dos anéis	39
Tabela 5: Resultados obtidos após transfer.do posto de colocação dos anéis	39
Tabela 6: Analise da redução e ganho no tempo de enrolar bobina	39

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Demanda x capacidade dos recursos do setor de bobinagem	32
Gráfico 2: Atividades de enrolar bobina	37
Gráfico 3: Comparação dos resultados	38

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1	17
Equação 2	19
Equação 3	19

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1 TEMA DO PROBLEMA	13
1.2 OBJETIVOS	14
1.2.1 Objetivo geral	14
1.2.2 Objetivos específicos	14
1.3 JUSTIFICATIVA	14
1.4 METODOLOGIA DA PESQUISA	15
1.5 LIMITAÇÕES DA PESQUISA	15
1.6 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 TRANSFORMADOR ELÉTRICO	17
2.2 COMO FUNCIONAM	17
2.3 TIPOS DE TRANSFORMADORES	19
2.4 TEORIA DAS RESTRIÇÕES	20
2.5 CONCEITOS	20
2.6 IDENTIFICAR A RESTRIÇÃO DO SISTEMA	21
3 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA	24
3.1 UNIDADES INDUSTRIAIS	24
3.2 APRESENTAÇÃO DO SETOR ONDE SERÁ O ESTUDO	25
3.3 DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE BOBINAR	27
4 IDENTIFICAÇÃO DAS MÁQUINAS GARGALOS	32
4.1 OTIMIZANDO O RECURSO GARGALO	33
4.2 ESCOLHA DO TRABALHO EM ESTUDO	33
4.3 DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO	34
4.4 SITUAÇÃO ATUAL	37
4.5 ANÁLISE DOS RESULTADOS	38
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	41
REFERÊNCIAS	42

1. INTRODUÇÃO

Com a constante abertura do mercado brasileiro para novas tecnologias de fabricação, o crescimento da confiança por parte de grandes marcas mundiais no crescimento da economia brasileira e a sinalização do governo para que sejam feitas as tão necessárias reformas tributárias, administrativas e políticas, fazem do Brasil um grande espectro de oportunidades, desenvolvimento e, para as empresas existentes a anos aqui, um enorme desafio.

Esse desafio de tornar a indústria nacional em empresas que podem competir de igual para igual com as estrangeiras, também pode ser considerado uma oportunidade, deve-se adequar os parques fabris para que se tornem grandes centros de produção e produtividade, baseando-se em modelos e estratégias de sucesso a nível mundial.

Neste cenário, a WEG vem se destacando a cada ano por entender as mudanças regionais, nacionais e globais, adequando no seu plano estratégico, medidas que visão seu crescimento sustentável com a incorporação de sistemas de gerenciamento de classe mundial. Um dos grandes desafios da WEG é a busca incessante por competitividade em suas linhas de produção. Cada vez mais a WEG vem modernizando seus parques fabris e buscando a eficiência de suas linhas de produção, mostrando que está no caminho certo.

De acordo com Nakagawa (1994, p.296), “a competitividade de uma empresa pode ser definida, em sentido amplo, como sua capacidade de desenvolver e sustentar vantagens competitivas que lhe permitam enfrentar a concorrência”.

1.1 TEMA DO PROBLEMA

A eficiência nas linhas de produção tem sido a anos temas de discussões e estudos na WEG, que busca o aperfeiçoamento de sua equipe de gestores para a melhoria contínua da produtividade, qualidade e segurança. A capacidade dos gestores de produção em lidar com o desafio de identificarem melhorias em seus processos é cada vez mais um diferencial para o aumento da competitividade desta organização.

Uma gestão bem preparada busca otimizar, gerenciar e simplificar sua linha de produção, reduzindo os seus custos. Para Martins (2003, p.298) “para sobreviver nesses mercados cada vez mais competitivos, a empresa precisa perseguir e alcançar altos níveis de qualidade, eficiência e produtividade, eliminando desperdícios e reduzindo custos”. Para auxiliar a gestão neste processo de melhoria continua, será abordado o tema da Teoria das

Restrições, que tem por objetivo identificar, analisar e melhorar as limitações de produtividade, o que seriam nossos gargalos de produção.

Este estudo visa aplicar a Teoria das Restrições na linha de produção de Bobinas de Transformadores de Força, classe de tensão de 60 MVA a 350 MVA, para identificar possíveis melhorias no processo produtivo, onde a intenção é evidenciar gargalos de produção que podem ser melhorados para que os custos diminuam e a produtividade possa ser aumentada.

1.2 OBJETIVOS

Para facilitar a compreensão deste trabalho e seu desenvolvimento, foram determinados seu objetivo geral e os objetivos específicos.

1.2.1 Objetivo geral

Utilizar a Teoria das Restrições (TOC) na linha de produção de Bobinas de Transformadores, departamento de Fabricação II, classe de tensão até 500 kwh, para identificar melhorias na linha de produção de Bobinas com a utilização de conceitos da Teoria das Restrições.

1.2.2 Objetivos específicos

- Apresentar o tema da TOC;
- Apresentar o processo produtivo de Bobinas de força para transformadores elétricos;
- Identificar o gargalo deste processo produtivo, e;
- Propor sugestões de melhorias para aliviar o gargalo de produção;

1.3 JUSTIFICATIVA

O interesse por este tema vem justamente pela necessidade de encontrar maneiras de identificar eventuais desvios de produção e transformá-los em oportunidades de melhorias e que, além de estarem alinhados com os objetivos da organização, possam ser utilizados como base de apoio para auxiliar outros setores da empresa, auxiliando na identificação e eliminação de gargalos de produção.

A identificação de gargalos nas linhas de produção é uma análise metódica de todo o processo produtivo da linha. Analisando criteriosamente a entrada de materiais, seu processamento, as etapas desta transformação que realmente agregam valor, identificar desvios e sugerir as mudanças necessárias para eliminação dos desperdícios.

Quando todos estes temas são dominados pela organização, através de sua área técnica, geralmente o setor de engenharia de processos é responsável por tratar destas questões, mostra que a organização está empenhada em buscar melhorar seus processos, mesmo podendo transparecer que os trabalhos já estejam enxutos e que já não há mais maneiras de melhorar ou obter mais ganhos. Por tanto, a justificativa para este trabalho é justamente mostrar, que por mais enxuto um processo possa parecer, utilizando uma ferramenta adequada, podemos identificar mais melhorias e ganhos.

1.4 METODOLOGIA DA PESQUISA

O estudo de caso a seguir tem o objetivo de mostrar o comportamento do processo em uma linha de produção específica, utilizando-se da TOC para esta observação, coleta e análise de dados.

Após a etapa de coleta das informações, cuja fonte de dados foram relatórios do departamento de PPCP e Métodos e Processos, através do sistema SAP e onde levantamos os tempos de produção das bobinas e pode-se separar cada etapa do seu processo produtivo. Após estas estratificações, identificou-se pontos de restrições que tinham potenciais de melhora para redução do tempo de fabricação nas máquinas gargalo.

Tal abordagem qualitativa, segundo Richardson (1999, p.80), “os estudos que empregam uma metodologia qualitativa podem descrever a complexidade de determinado problema, analisar interação de certas variáveis, compreender e classificar processos dinâmicos vividos por grupos sociais”.

1.5 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

A empresa alvo deste estudo é uma empresa nacional de classe mundial, localizada no interior de Santa Catarina. O grupo fabrica uma enorme quantidade de produtos e este trabalho abordou a fabricação de um componente que faz parte da montagem de grandes transformadores, utilizados em subestações geradoras e transmissoras de energia elétrica.

Estes transformadores são produtos altamente customizados e são produzidos por encomenda, através de licitações do governo, quando estatais, ou por compra direta quando empresas geradoras e distribuidoras de energia privadas.

1.6 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho está organizado na seguinte maneira: No Capítulo 1 é apresentado a introdução ao tema, oportunidade de pesquisa, objetivos e justificativa. No Capítulo 2, apresenta-se um breve conceito do que é um transformador e veremos uma revisão da literatura sobre a Teoria das Restrições e seu conceito. No Capítulo 3 será apresentada a empresa onde o estudo foi realizado. No Capítulo 4 são apresentadas as máquinas identificadas como os gargalos da linha de produção da área estudada, elucidará a otimização dos recursos considerados gargalos e mostrará como foi realizado o estudo, a situação atual e a análise dos resultados. Finalmente, o Capítulo 5 apresenta as considerações finais.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo serão apresentados os princípios de funcionamento, bem como alguns tipos de transformadores e conceitos sobre a TOC.

2.1 TRANSFORMADOR ELÉTRICO

Para Helerbrock (2020), transformadores são dispositivos usados para abaixar ou aumentar a tensão e a corrente elétricas. Os transformadores basicamente consistem no enrolamento de dois fios, chamados de primário e secundário, onde são envolvidos sobre um núcleo metálico de aço silício. A passagem de uma corrente elétrica alternada diretamente no enrolamento primário vai induzir à formação de uma corrente elétrica alternada no enrolamento do secundário. A proporção entre as correntes do enrolamento primário e do secundário vai depender diretamente da relação do número de espiras ou voltas sobre cada um dos enrolamentos.

2.2 COMO FUNCIONAM

As principais características dos transformadores é que eles possuem a capacidade de abaixar ou aumentar as correntes e as tensões elétricas nos circuitos de transmissão e consumo de energia elétrica. Quando um transformador baixa a tensão elétrica, automaticamente ele faz aumentar a intensidade de corrente elétrica na saída e quando ele aumenta a tensão elétrica diminui a intensidade da corrente elétrica na saída, mantendo sempre constante a transmissão de potência, sua fórmula é dada pelo produto da corrente pela tensão (Eq.1).

$$P = U.i \quad (1)$$

Onde:

P — é a potência elétrica

U — é a tensão elétrica

i — é a corrente elétrica

Por questões de eficiência, a transmissão de energia elétrica em grandes distâncias sempre ocorre em alta tensão e com baixa corrente elétrica, em resposta às perdas de energia ocasionadas pelo efeito *Joule*, uma vez que a energia dissipada nos fios é proporcional à corrente elétrica.

Para os circuitos de consumo de energia, como os residenciais, são utilizados baixos valores de tensão elétrica, por questões de segurança, pois potenciais elétricos muito elevados podem produzir descargas elétricas. É por essa razão que encontramos grandes transformadores nos postes, cuja função é a de abaixar o potencial elétrico da corrente que é conduzida pelos fios, levando-a para as residências com tensões de 110 V ou 220 V.

Os transformadores comuns são construídos com dois enrolamentos de fios de cobre, chamados de primário e secundário. Esses enrolamentos sempre contam com diferentes números de voltas e encontram-se então torcidos em volta de um núcleo de ferro, sem que haja contato entre eles. Observe a Figura 1 a seguir:

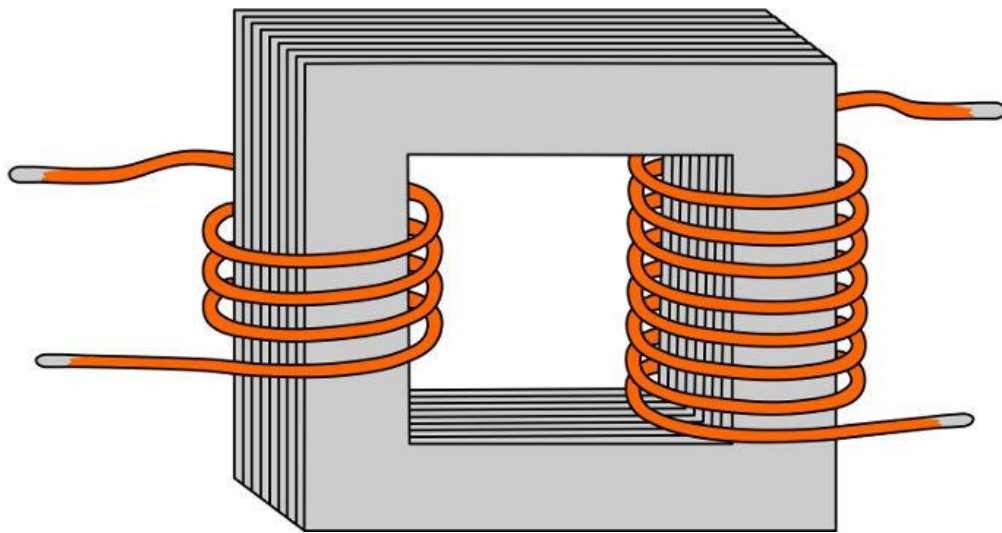


Figura 1: Exemplo básico de transformador com enrolamentos primário e secundário
Fonte: Helerbrock (2020).

Segundo Helerbrock (2020), o enrolamento primário é ligado diretamente a um gerador de força eletromotriz alternada (transformadores não funcionam com corrente direta), ou seja, nele, forma-se uma corrente elétrica de intensidade e sentido variável, levando à geração de um campo magnético com as mesmas características.

Esse campo magnético é então concentrado e amplificado pelo núcleo férreo em direção ao enrolamento secundário. O campo magnético variável induz ao surgimento de uma corrente elétrica no secundário. A relação entre os potenciais elétricos entre os enrolamentos primário e secundário é dada pela seguinte fórmula (Eq.2):

$$\frac{V_P}{N_P} = \frac{V_S}{N_S} \quad (2)$$

Onde:

V_P — é a tensão no enrolamento primário

V_S — é a tensão no enrolamento secundário

N_P — é a número de espiras no enrolamento primário

N_S — é a número de espiras no enrolamento secundário

Como sabemos, a tensão e a corrente elétricas são inversamente proporcionais, portanto, a relação para as correntes elétricas dos enrolamentos primário e secundário é invertida (Eq.3):

$$\frac{I_P}{N_S} = \frac{I_S}{N_P} \quad (3)$$

Onde:

I_P — é a corrente elétrica no enrolamento primário

I_S — é a corrente elétrica no enrolamento secundário

N_P — é o número de espiras no enrolamento primário

N_S — é o número de espiras no enrolamento secundário

O fenômeno físico por trás do funcionamento dos transformadores é chamado de indução eletromagnética e é descrito pela lei de Faraday-Lenz. Essa lei informa que, ao produzirmos uma variação do fluxo magnético por alguma região do espaço, um campo magnético deverá surgir de modo a opor-se a essa variação.

2.3 TIPOS DE TRANSFORMADORES

Apesar de terem funções parecidas, existem diversos tipos de transformadores que atendem a diferentes necessidades. Abaixo os tipos mais comuns:

- **Transformador de corrente:** tem como principal finalidade abaixar a intensidade da corrente elétrica, a fim de transmiti-la para redes de transmissão ou para dispositivos que não suportem correntes elétricas altas.
- **Transformador de potencial:** é o tipo mais comum de transformador, pode abaixar ou aumentar o potencial elétrico de acordo com a demanda e com o número de enrolamentos na bobina primária e secundária.
- **Transformador de distribuição:** presente nas centrais de distribuição das usinas elétricas, é responsável por distribuir a corrente elétrica, para diferentes tipos de consumidores, por meio das linhas de transmissão.
- **Transformador de força:** opera com altíssimos níveis de potencial elétrico e corrente elétrica, é usado na geração de energia elétrica, mas também em aplicações que requeiram muita potência elétrica, como fornos industriais e fornos de indução.

2.4 TEORIA DAS RESTRIÇÕES

A Teoria das Restrições, conhecida também como TOC (*Theory of Constraints*), teve seu reconhecimento relativamente recente no quesito prático para a tomada de diversas decisões nas organizações nas quais existem todo um tipo de restrições relacionadas a produção. A TOC foi criada, ou citada inicialmente, pelo israelense Dr. Eliyahu Goldratt em seu livro, A Meta.

2.5 CONCEITOS

A metodologia desenvolvida por Goldratt (1990) tem o objetivo de maximização dos lucros com a administração de recursos que podem restringir o empreendimento. Esta metodologia foi amplamente difundida no livro “A Meta”, onde os autores contam a história de uma empresa que enfrentava problemas e estava na iminência de fechar. Sentia dificuldades em atingir os prazos de entrega, possuía um enorme estoque e fora estabelecido para seu gerente um prazo de três meses para se recuperar ou seria o fim desta filial.

Nesta situação, a equipe que comandava a fábrica definiu que os processos deveriam ser vistos como dependentes entre si ou como uma corrente interligada, em que era necessário identificar a operação com menor capacidade e mover esforços para aumentar sua capacidade.

Isso seria uma mudança na tradicional concepção de gestão de operações, na qual as operações eram vistas apenas como um processo de transformação de *inputs* em *outputs* isoladamente (MAHESH, 2008).

Goldratt (1990) definiu o elo mais fraco, ou o recurso com menor capacidade, como gargalo, pois é ele quem restringe a organização de alcançar sua meta. Os outros elos foram denominados de recursos com excesso de capacidade (maior capacidade), que deve ser subordinado ao gargalo, e que não apresenta nenhuma restrição em sua capacidade produtiva (RODRIGUES; PEIXOTO, 2015) e recursos de capacidade restrita, que se tornarão uma restrição quando a capacidade do gargalo for aumentada (COGAN, 2007).

Goldratt (1990), ao discutir sobre o balanceamento de fluxo e capacidade, diz que em uma linha de produção existem efeitos indesejáveis, ocasionando a diminuição da cadência de produção. Esses efeitos indesejáveis são decorrentes da aleatoriedade dos tempos da operação, influenciadas por qualidade de materiais, quebra de máquinas, disponibilidade de ferramentas, absenteísmo, falta de material para processar no recurso, variações no comportamento, entre outros (COX; SCHLEIER JUNIOR, 2010).

Foi nesse contexto que a teoria das restrições foi criada, fornecendo uma metodologia estruturada em cinco etapas para identificar e explorar ao máximo as restrições e minimizar os efeitos indesejáveis. Os cinco passos são ilustrados na Figura 1 e cada etapa é comentada em seguida.

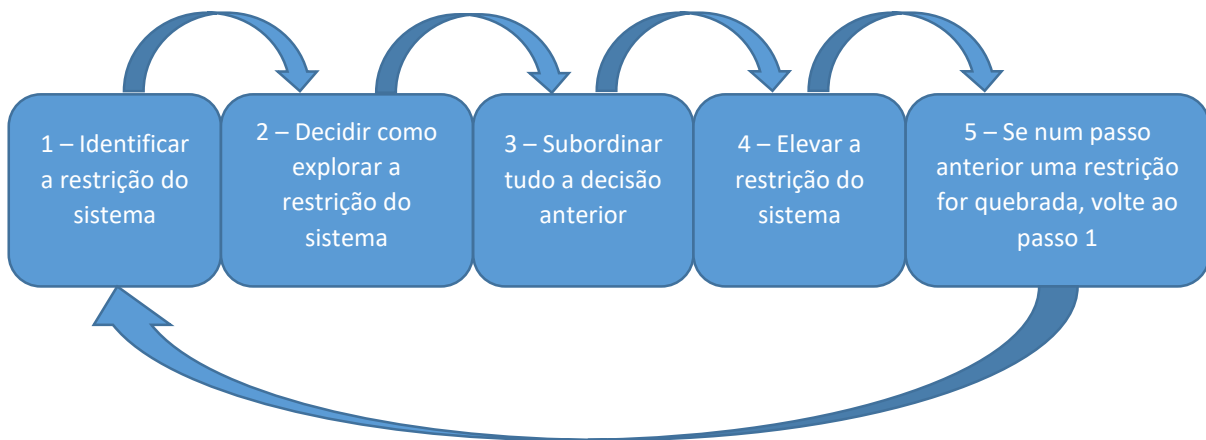


Figura 2: Os 5 passos da TOC.
Fonte: Adaptado de Goldratt (1990).

2.6 IDENTIFICAR A RESTRIÇÃO DO SISTEMA

A meta de uma organização é aumentar seus lucros. Assim sendo, é importante identificar tudo que a distância dessa meta ou que a impeça de alcançá-la. Frequentemente, essas restrições são causadas por uma pequena quantidade de elementos num sistema (MABIN, 2003) e segundo Oliveira (2016) podem ser classificadas como restrições física e políticas.

- Restrição física: pouca capacidade de atender a uma demanda, *layout* ineficiente, orçamento restrito, mão-de-obra escassa, linha de produção desbalanceada (HINCKELDEYN et al.,2014);
- Restrições políticas, quando a organização é avessa a mudanças (PIRES, 2010).

Uma vez identificado o gargalo, o mesmo deverá ficar ocupado todo tempo da sua disponibilidade (RODRIGUES; PEIXOTO, 2015), fazendo com que o recurso restrito seja utilizado em sua máxima capacidade. Esta decisão é muito importante, pois uma hora perdida no gargalo é uma hora perdida no sistema inteiro (GOLDRATT, 1990).

Como o gargalo é o que apresenta menor capacidade, todas as outras operações devem se esforçar para atendê-lo e nunca ultrapassar essa capacidade determinada. Desta forma, o nível de utilização de um recurso não gargalo não é determinado pelo seu próprio potencial, mas pelo potencial da restrição do sistema (FERREIRA, 2007). Se a subordinação não for respeitada, será criado estoque em processo (FANTINI, 2011). A fim de controlar esse estoque e toda cadência da linha, Goldratt criou o termo denominado tambor-pulmão-corda (*drum buffer rope*) estabelecendo que o gargalo é quem ditaria a cadência de toda a fábrica.

O tambor representaria o ritmo do gargalo ditando os processos, o pulmão serviria para manter o gargalo ocupado todo o tempo, prevenindo-o de qualquer interrupção (Murphy), mantendo o ganho da empresa, e a corda limitaria o inventário determinado pelo gargalo (COGAN, 2007). Num contexto mais prático, o tambor seria a cadência do recurso gargalo, o pulmão, um pequeno estoque de prevenção antes do gargalo e a corda seria o limite desse pequeno estoque.

Para que a capacidade do sistema inteiro seja aumentada é necessário focar esforços na ampliação da capacidade da restrição, pois é ele quem dita a cadência e ganho do sistema como um todo (FERREIRA, 2007). Isso seria uma visão holística da organização, pois uma única operação afetaria o ganho da empresa como um todo (OLIVEIRA, 2016). Para elevar a restrição, pode-se comprar novos equipamentos, mudar a tecnologia, desenvolver os processos ou matérias primas (VEIT et al. 2012). Esse aumento acontece até o momento em que o recurso com capacidade restrita se tornar um novo gargalo, dando início à quinta e última etapa.

É necessário identificar não só as restrições do sistema, mas também os recursos com capacidade restrita, pois são eles quem se tornarão gargalo. Isso acontece, porque ao seguir os quatro passos anteriores, a capacidade do gargalo ultrapassa a do recurso com capacidade restrita, da mesma forma limitando toda a empresa de alcançar seu objetivo. Com isso, deve-se

voltar ao primeiro passo e reaplicar a metodologia. Apesar de a teoria ter sido criada na década de 1980, seus conceitos básicos não mudaram com o passar dos anos (MAHESH, 2008).

A exemplo disso, Júnior *et al.* (2015) aplicaram a teoria em uma indústria de refrigerantes, obtendo como resultados melhor utilização do recurso gargalo (equipamento de envase) e ganhos com receita de vendas no valor de R\$1.474.989,45. Machado e Brito (2013) fizeram o uso da teoria em uma usina de etanol, onde puderam identificar o gargalo da cadeia de suprimentos e propor melhorias no processo produtivo. Oglethorpe (2013) fez o uso da metodologia na indústria alimentícia, na Inglaterra, identificando sete tipos de restrições e sugerindo melhores formas de gerir empresas alimentícias locais, através de centros autônomos de distribuição ou cooperativas locais.

3 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

A empresa WEG foi fundada em 16 de setembro de 1961 por Werner Ricardo Voigt, Eggon João da Silva e Geraldo Werninghaus teve como seu primeiro nome Eletromotores Jaraguá. Anos depois passou a usar razão social WEG S.A., cujo nome é a junção das iniciais dos três fundadores, **Werner Eggon Geraldo**.

No ano de 1970 iniciou a sua atuação no mercado internacional, exportando seus produtos para países da América Latina e em 1971 abriu seu capital na Bovespa.

3.1 UNIDADES INDUSTRIAIS

A WEG possui, no Brasil, quatorze parques fabris e a sua sede e principais unidades industriais estão na cidade de Jaraguá do Sul, Santa Catarina. Suas demais fábricas estão espalhadas por Rio Grande do Sul (Gravataí), Santa Catarina (Blumenau, Guaramirim, Itajaí e Joaçaba), São Paulo (São Paulo, São Bernardo do Campo, Sertãozinho e Monte Alto), Amazonas (Manaus), Espírito Santo (Linhares). No exterior, a WEG possui unidades fabris na Argentina, México, Estados Unidos, Áustria, Portugal, África do Sul, China, Alemanha e Índia, além de instalações de distribuição e comercialização nos Estados Unidos, Venezuela, Colômbia, Chile, Reino Unido, Bélgica, França, Espanha, Itália, Suécia, Austrália, Japão, Singapura, Índia, Rússia e nos Emirados Árabes Unidos.

No exterior, a WEG possui parques fabris em nove países: três na Argentina, dois na Alemanha, um na Áustria, dois na África do Sul, dois no México, um nos Estados Unidos, um em Portugal, dois na República Popular da China e um na Índia, inaugurada em fevereiro de 2011, além de 22 filiais e representantes em mais de 100 países.

Atualmente a WEG emprega cerca de 31.800 colaboradores, sendo que a maior parte encontra-se no parque fabril de Jaraguá do Sul.

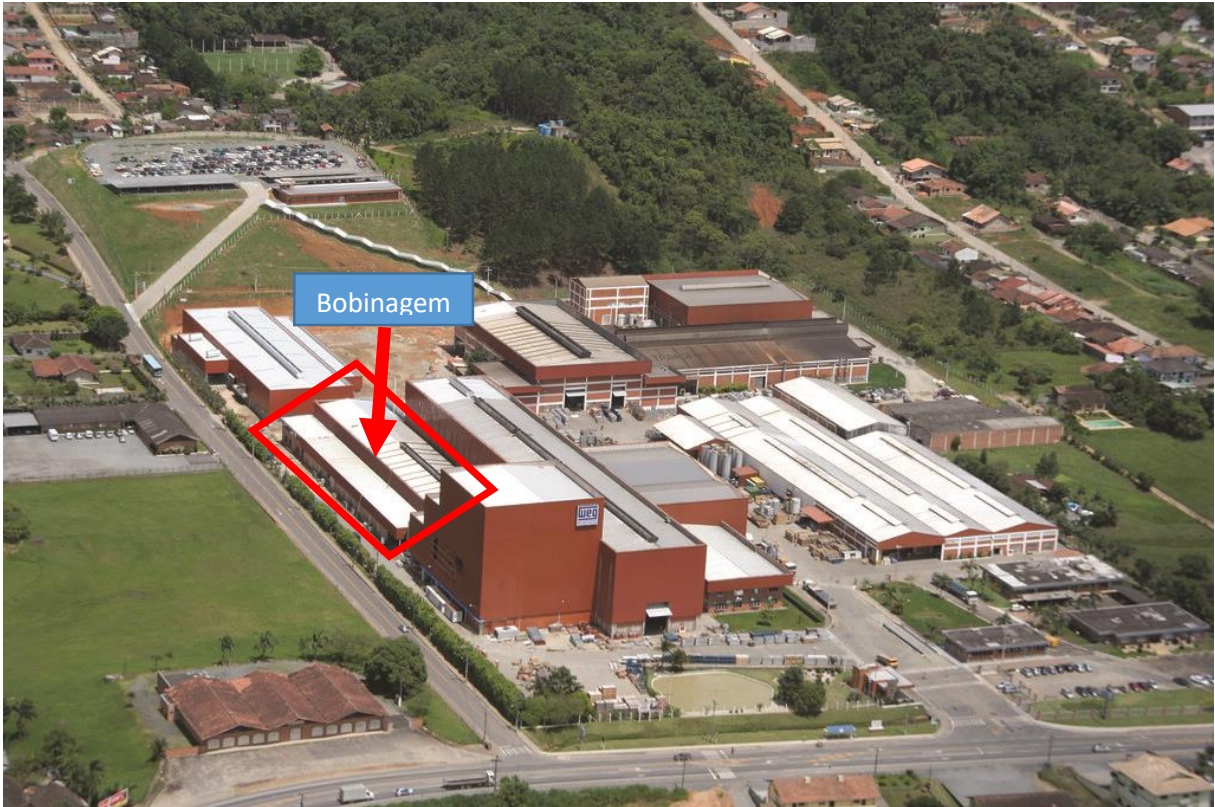


Figura 3: Foto da WEG Transformadores de Blumenau.
Fonte: Acervo da WEG (2019).

3.2 APRESENTAÇÃO DO SETOR ONDE SERÁ O ESTUDO

A seção de Bobinagem de força está localizada no departamento de Fabricação II, localizada em Blumenau – SC. Esta unidade é responsável pela fabricação de transformadores de distribuição e transformadores de grande potência, até 500 kwh ou 350 MVA.

A seção aonde ocorreram os estudos foi a de Bobinagem de Força, onde se fabricam bobinas de até 500 kw, utilizadas nos maiores transformadores, destinados a subestações de força, usinas de geração e transmissão de energia.

Esta seção possui as dimensões de 30 x 100 x 20 metros (L x C x A) e possui os seguintes recursos:

- 6 máquinas verticais com capacidade de até 20 toneladas;
- 3 máquinas horizontais com capacidade para 8 toneladas;
- 2 máquinas horizontais com capacidade para 6 toneladas;
- 8 máquinas horizontais com capacidade para 5 toneladas;
- 1 unidade de prensagem de bobinas com capac.de prensagem de 100 ton.
- 2 estufas utilizadas para a estabilização de bobinas;

- 3 linhas de montagem de blocos de bobinas;
- 1 máquina de solda por indução para fios entrelaçados;
- 4 pontes rolantes, 2 de 5 ton.e 2 de 10 ton;
- 1 galpão para depósito de material isolante, climatizado;
- 1 galpão para depósito de carretéis de fios e cabos de cobre.

Ao todo são 120 colaboradores trabalhando em 3 turnos e estão divididos da seguinte forma:

Tabela 1: Total de colaboradores por turno na seção de bobinagem

TURNOS	1°	2°	3°	GERAL
COLABORADORES	29	22	16	3
BOBINADORES	19	19	15	0
TOTAIS	48	41	31	3

Fonte: O autor (2020).

Além do depósito de material isolante, há outro galpão das máquinas bobinadeiras climatizado. A temperatura média do setor fica em 25°C para dois propósitos: Primeiro é baixar a umidade relativa do ar, pois a matéria prima é de papelão e papel isolante, que retém água e prejudicam o trabalho em relação as tolerâncias de fabricação. Segundo, é para forçar uma pressão positiva dentro do setor, fazendo com que quando qualquer porta seja aberta, o ar saia para evitar que a poeira externa entre e cause o risco de contaminar as bobinas, o que pode ser prejudicial ao transformador.



Figura 4: Foto da seção de Bobinagem de Força
Fonte: O autor (2020).

3.3 DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE BOBINAR

A fabricação das bobinas assemelha-se a um processo artesanal, por mais automatizados que sejam hoje, sua fabricação é inteiramente manual, tendo apenas estas máquinas bobinadeiras, que derivam basicamente de um torno mecânico, para produzir as bobinas.

Os *kits*, que são os esqueletos das bobinas, são de papelão isolante e tem colados neles varetas de 6 a 8 mm de espessura onde o fio é enrolado sobre elas. Parte importante desta estrutura, são os espaçadores, que a cada disco, são colocados para separar o disco anterior do próximo, são estas peças que nos darão o distanciamento elétrico entre os discos.

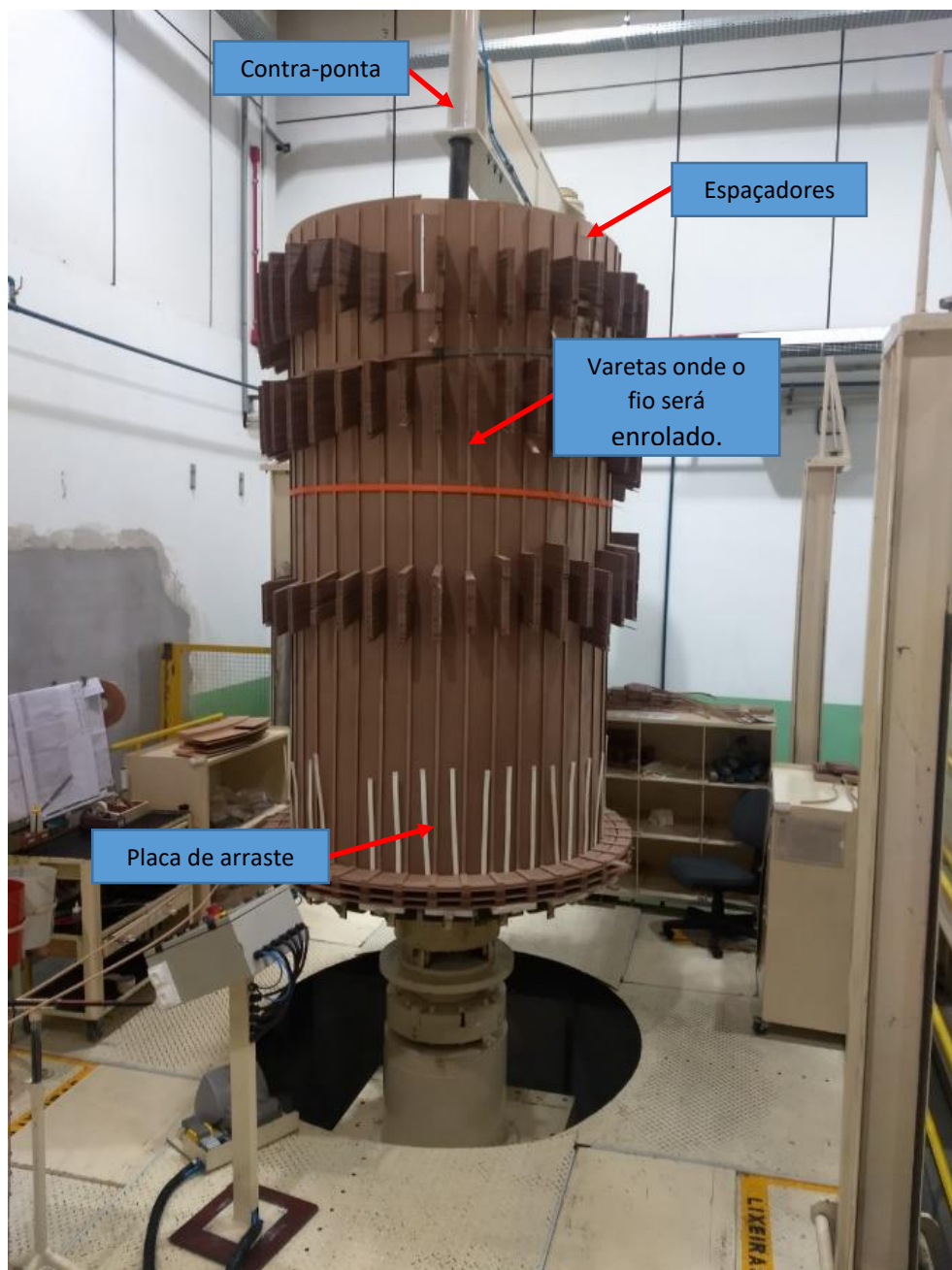
Este *kits* são colocados em grandes moldes expansíveis, em diâmetro, e que ficam acoplados as bobinadeiras, onde em um lado fica a máquina com a placa de arraste, que faz o molde girar, e no outro lado fica uma contra-ponta, igual a de tornos convencionais, com capacidade para segurar pesos de até 8 toneladas.



**Figura 5: Foto de molde expansível.
Fonte: O autor (2020).**

Nas máquinas verticais, onde o estudo foi realizado, a placa de arraste fica presa em uma estrutura abaixo do nível do piso e a contra-ponta fica na parte superior de uma torre, como pode ser observado na figura 6 abaixo. Estas máquinas tem capacidade para suportar até 20 t de peso, entre molde mais a bobina que será montada.

A medida que a bobina é construída, o operador procura manter a parte onde ele segura e guia os fios que estão sendo enrolados, sempre na sua linha de cintura, quando passa dessa linha ele aciona o elevador do molde para que todo o conjunto, molde e bobina, desça e fique novamente em uma posição anatomicamente confortável.



**Figura 6: Foto de kit sobre molde expansível em máq.vertical.
Fonte: O autor (2020).**

Já os fios de cobre, enrolados sobre carretéis de madeira, ficam sobre cavaletes atrás das máquinas. Estes fios são puxados até o *kit* e são presos na parte inferior do mesmo com cintos *trick*. Após esta fixação é iniciado o giro do molde que acaba puxando os fios dos carretéis e tem-se o início da bobina.



Figura 7: Foto de carretéis de fio de cobre.
Fonte: O autor (2020).

Todo este processo inicial desde a escolha do molde, seu transporte até a máquina, troca de madeiras para atingir o diâmetro da bobina, a colocação do *kit* neste molde, a preparação do *kit* em si e a colocação dos carretéis de fios atrás das máquinas é a parte que chamamos de *setup*.

Esta etapa do processo demanda um tempo médio de até 8 horas de trabalho, uma vez que todos os componentes só podem ser transportados por pontes rolantes, devido ao tamanho dos *kits* e o grande peso dos componentes, moldes e carretéis de fios ou cabos.

Todo o processo de enrolar o fio sobre o *kit* pode levar de 5 a até 15 dias de trabalho, dependendo do projeto do transformador. Entre este processo de enrolar o fio existe a tarefa de colocação de anéis de desvio de óleo interno e externo. A colocação do anel interno é realizada ao longo do enrolamento, ver Figura 7, e o anel externo só é colocado quando a bobina está completamente pronta.

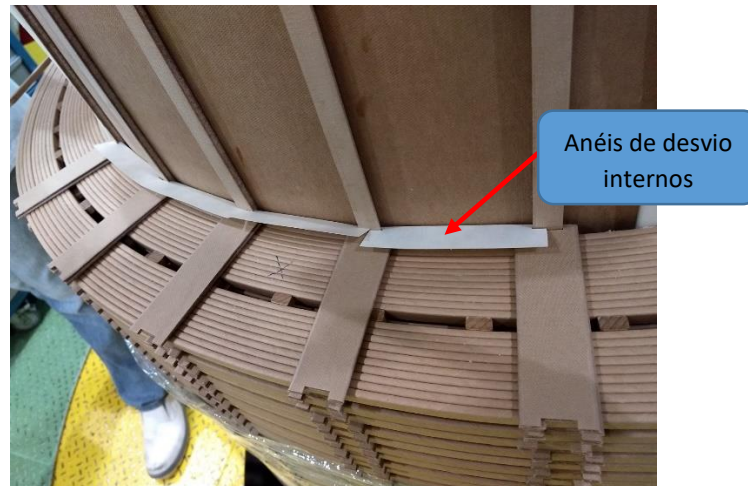


Figura 8: Início da colocação de anéis de desvio interno.
Fonte: O autor (2020).

Ao término da bobina, o operador tem a tarefa de riscar e dobrar todos os anéis de desvio de óleo externos e só então ele iniciará a colocação deles na bobina, um a um.



Figura 9: Foto de bobina com anéis de desvio externos.
Fonte: O autor (2020).

Identificadas todas as etapas do processo de produção de bobinas e compreendida suas dificuldades bem como os diversos materiais que a compõem, pode-se fazer a apresentação destas etapas no fluxograma de produção abaixo.

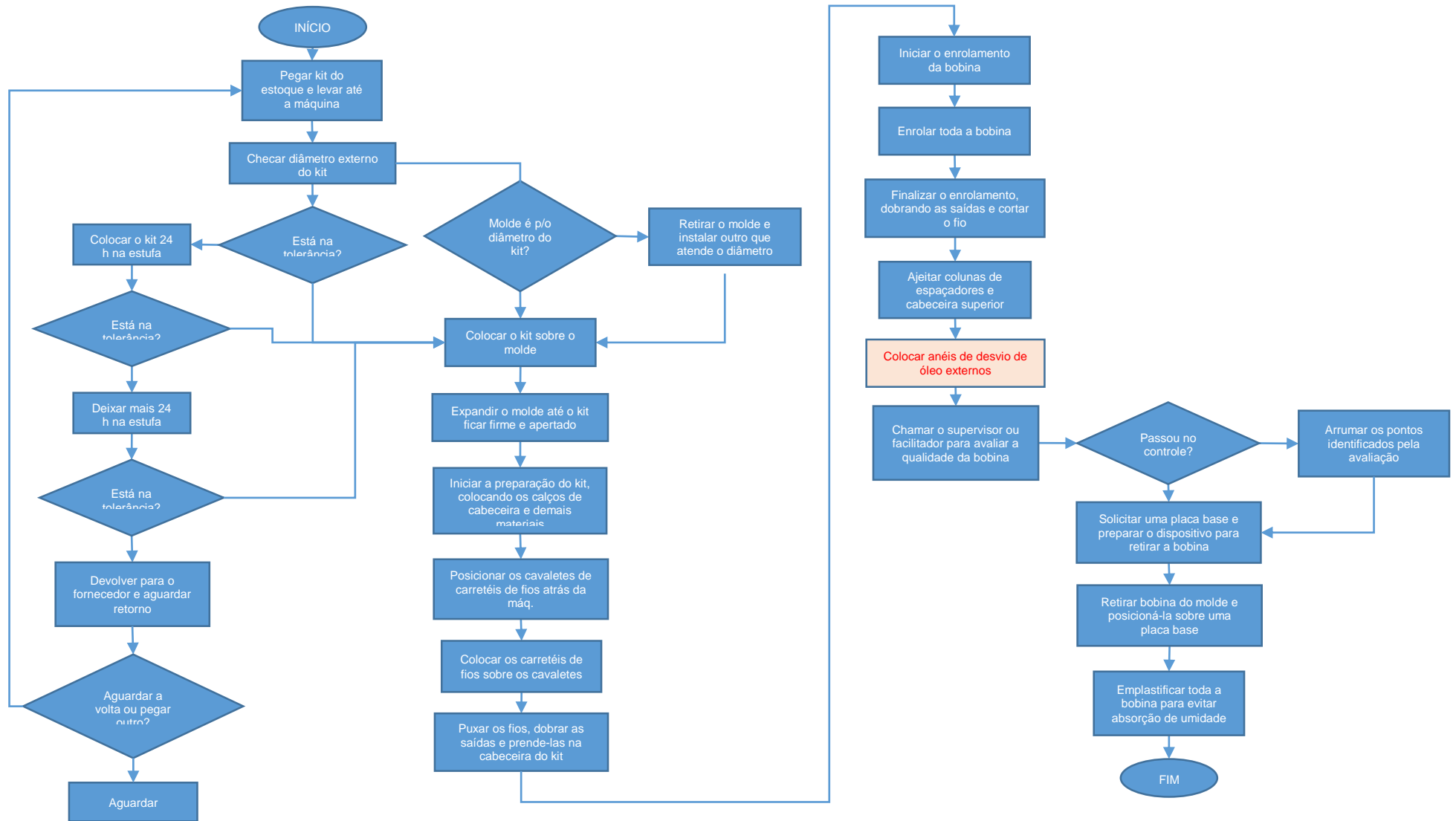


Figura 10: Fluxograma do processo de produção de Bobinas.

Fonte: O autor (2020).

4 IDENTIFICAÇÃO DAS MÁQUINAS GARGALOS

A primeira parte para identificar as restrições dentro do setor de bobinagem iniciou-se com uma estratificação da demanda x capacidade fornecida pelo PPCP (Planejamento Programação e Controle da Produção), conforme apresentado no Gráfico 1. Com esta informação em mãos, notamos uma demanda muito alta de bobinas de alta tensão cuja fabricação é direcionada para as máquinas verticais devido ao seu tamanho em altura, peso e radial do enrolamento, isto é, a altura dos fios de cobre a serem enrolados na bobina.

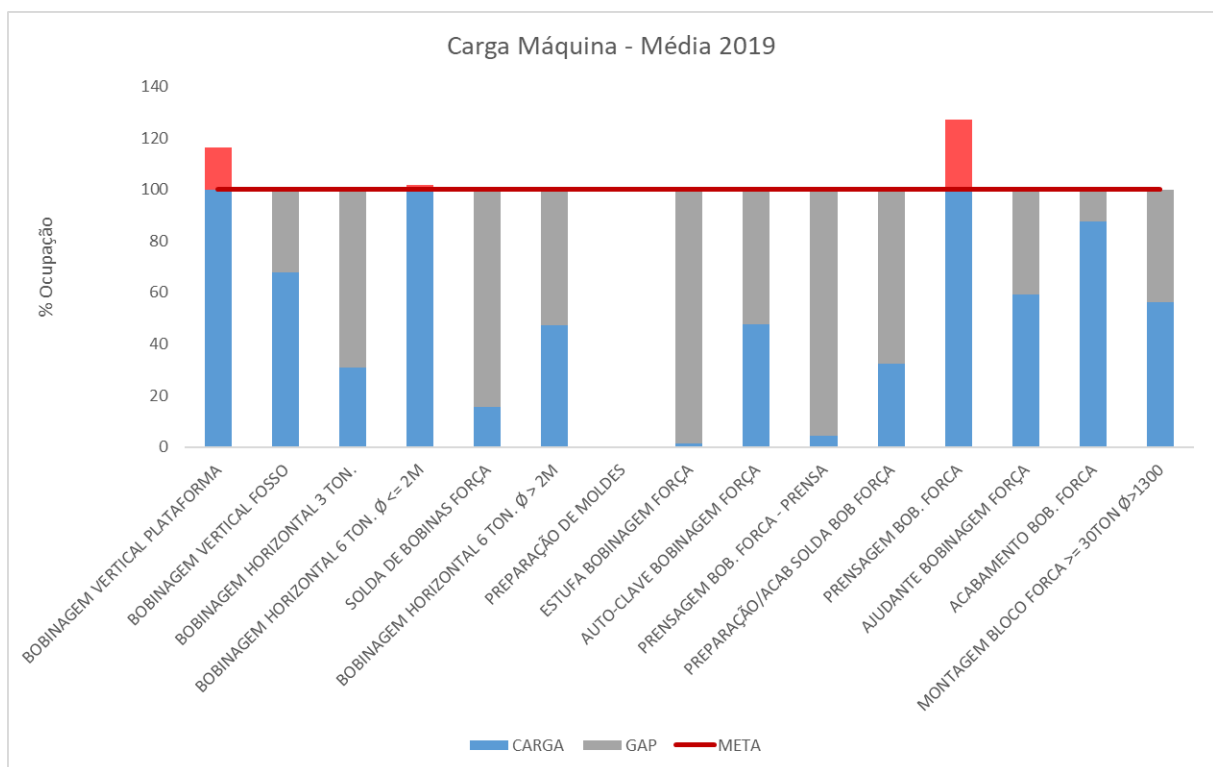


Gráfico 1: Demanda x capacidade dos recursos do setor de bobinagem.

Fonte: PPCP WEG Transformadores (2019).

Analisando o Gráfico 2, foi possível determinar que, dentro desta seção, o gargalo de produção são as máquinas verticais e máquinas horizontais com capacidade de 6 t, conforme a Figura 9. Estas máquinas estão com suas capacidades exauridas devido à alta complexidade das bobinas direcionadas a elas. Importante ressaltar que os operadores destas bobinadeiras são altamente qualificados, sendo os profissionais com mais tempo de trabalho.



Figura 11: Bobinadeiras horizontais para 6 toneladas.
Fonte: O autor (2020).

4.1 OTIMIZANDO O RECURSO GARGALO

Na etapa posterior a identificação do recurso gargalo, foram analisados todos os processos realizados durante o enrolamento da bobina nestas máquinas verticais e horizontais. Esta análise é necessária para identificar quais trabalhos são realizados obrigatoriamente na máquina pelo operador e qual processo é possível de realizar fora por outros operadores.

Depois das observações no gargalo, foi possível elencar dois processos que trariam grande alívio na operação, são eles:

- *Setup* da máquina sendo feito em outro posto de trabalho;
- A colocação de anéis de desvio de óleo externos ao longo da bobina.

4.2 ESCOLHA DO TRABALHO EM ESTUDO

Para a escolha de implantação do trabalho, entre os dois possíveis, levou-se em conta a viabilidade econômica para implantação, levando em conta seu custo/benefício.

No primeiro caso, a ideia de se implantar um posto de trabalho que fizesse todo o *setup* da máquina fora parecia ótimo, mas para a implantação deste posto levantamos todos os seus componentes para a eficácia da ação, onde precisaríamos de:

- Local dentro da seção, em torno de 20 m²;
- Compra de um equipamento hidráulico para erguer moldes do sentido horizontal para vertical, orçada em R\$ 250.000,00;

- Uma plataforma articulada para o operador se posicionar ao redor do molde, orçada em R\$ 120.000,00;
- Dois operadores, 1 por turno, para a operacionalização desta etapa, operadores já com boa experiência nos processos de bobinagem e *setup*;
- A compra de mais moldes para esta etapa, cada molde custa em torno de R\$ 60.000,00 e precisaríamos de 4 para início dos trabalhos;
- Compra de ferramental para este posto, R\$ 10.000,00.

No segundo caso, foi avaliado que a operação de colocar anéis de desvio de óleo em outro posto de trabalho, poderia ser realizado fora de qualquer máquina e por operadores com menos experiência e que não acarretariam em custos adicionais.

Revisando a planilha fornecida pelo PPCP, *Tabela 1*, é identificado um posto de trabalho que estava com sua taxa de ocupação baixa e outro posto que oscilava, mas que tinha capacidade livre em vários momentos. O posto com baixa ocupação é a área de solda da bobinagem, este posto possui 3 turnos e 2 operadores por turno.

O outro posto que possui uma certa folga em sua ocupação é o de ajudantes da bobinagem. Ele é composto por 3 auxiliares que percorrem a seção, entre as máquinas bobinadeiras, e prestam auxílio aos operadores que produzem as bobinas, é o posto inicial para qualquer operador recém contratado.

Estes operadores, por motivos de *mix* de produção, as vezes ficam com uma certa “folga” nos seus afazeres e são designados a fazer outras tarefas de baixa complexidade e podem auxiliar na colocação dos anéis de desvio.

Então a escolha baseou-se na simplicidade, que é um fator que acompanha a WEG desde sua fundação. Como o primeiro caso poderia ser implantado, mas demandaria de altos investimentos, optou-se em implantar o segundo projeto, que não demanda investimentos e no qual já o setor já possuía todos os recursos necessários.

4.3 DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO

A colocação dos anéis de desvio externos é solicitada em projeto e o bobinador só pode fazer este processo com a máquina parada e após a finalização do enrolamento. Esta etapa consiste em o operador pegar anel por anel, fazer um risco em cada um para facilitar sua dobra e, após dobra-lo, colocar um a cada campo da bobina.

Os anéis de desvio de óleo são peças de um material denominado “Nomex” e que tem uma ótima resistência a altas temperaturas. Estas peças são colocadas tanto na parte interna como externa da bobina, denominados de anel interno e externo, conhecidos internamente por anéis *zigue-zague*.

Eles tem a função de fazer o óleo ziguezaguear entre o enrolamento, sendo que o óleo vem de baixo para cima, ele sobe pela parte externa da bobina encontra os anéis externos que o desviam para dentro, sobe pela parte interna encontrando o anel interno que o desvia novamente para fora, repetindo este ciclo várias vezes ao longo da bobina.



Figura 12: Anel zigue zague externo
Fonte: O autor (2020).

Figura 133: Anel zigue zague interno
Fonte: O autor (2020).

Nas bobinas existe uma divisão entre colunas de espaçadores ao que denominamos campos e pode variar de 12 a 48 campos, de acordo com o projeto e tamanho da bobina. Também é variável o número de discos que uma bobina possui de anéis de desvio, são entre 6 a 10 internos e 4 a 10 externos. Como será possível apenas colocar os externos em outro posto, é destes que trataremos neste estudo.



Figura 14: Bobina com anéis de desvio externos
Fonte: O autor (2020).

Foram avaliadas as ordens produzidas em 2019 a fim de registrar a quantidade de anéis utilizados no período, conforme demonstrado na Tabela 2 abaixo:

Tabela 2: Tabela de produção programada da bobinagem de Janeiro à Agosto de 2019.

CLIENTE	QTDE.	TIPO DE BOBINA	QUANTIDADE DE			TOTAL DE ANÉIS	
			BOBINAS	ANÉIS INTERNOS	ANÉIS EXTERNOS	INTERNO	EXTERNO
RIO PARANÁ	9	AT	0	0	0	0	0
		BT	27	512	415	13824	11205
VOITH JANAUBA	7	AT	7	224	224	1568	1568
		BT	7	256	231	1792	1617
ABB CHILE	3	AT	9	240	120	2160	1080
		BT	9	120	120	1080	1080
CHILQUINTA	3	AT	3	448	192	1344	576
		BT	3	224	192	672	576
ANDE	1	AT	4	144	120	576	480
		BT	4	120	100	480	400
MÓVEL TR	1	AT	3	160	160	480	480
		BT	3	96	96	288	288
CEMIG 3 MARIAS	3	AT	6	160	160	960	960
		BT	6	128	132	768	792
EDP	4	AT	4	264	264	1056	1056
		BT	4	56	56	224	224
MÓVEL COPEL	5	AT	15	128	96	1920	1440
		BT	15	96	80	1440	1200
OMEGA	1	AT	3	144	120	432	360
		BT	3	144	125	432	375
EDF FOLHA LARGA	2	AT	3	160	160	480	480
		BT	3	384	330	1152	990
VOITH PARANÁ ARIQUEMES	8	AT	8	144	120	1152	960
		BT	8	144	125	1152	1000
RIO PARANAPANEMA	1	AT	3	244	244	732	732
		BT	3	512	462	1536	1386
CEMIG JAGUARA	1	AT	3	216	180	648	540
		BT	3	252	216	756	648
OMEGA EÓLICA DELTA	3	AT	3	384	192	1152	576
		BT	3	192	192	576	576
VOLTÁLIA	2	AT	6	240	240	1440	1440
		BT	6	640	648	3840	3888
PORTO PRIMAVERA	3	AT	9	432	216	3888	1944
		BT	9	216	216	1944	1944
REATORES EDP	29		29	168	168	4872	4872
TOTAL C/ANÉL	86		234			56816	47733

Fonte: PPCP WEG Transformadores (2019)

Em 8 meses, foram dobrados aproximadamente 545 anéis de desvio de óleo, tanto internos como externos, em média, foram colocados 203 anéis externos por enrolamento.

Em média, segundo os roteiros, a duração de cada atividade por anel é de:

Tabela 3: Tempo de preparo e colocação dos anéis externos.

Operações	Tempo (min/anel)	Nº de anéis externos	Nº de anéis internos	Tempo total (min/ano)
Riscar e dobrar	0,343	203,98	242,80	153,24
Colocar e dar acabamento	0,338	203,98	-	68,94
Colocar e dar acabamento	1,150	-	242,80	279,22
Duração da atividade (min/ano)				501,4

Fonte: Setor de métodos e Processos WEG Transformadores (2019).

Em uma ordem de controle de produção (CP) utilizada como exemplo, o tempo total da operação de “enrolar” é de 7.013,47 minutos, nesse caso, as atividades de dobrar e colocar anéis, quando somadas, chegam a 501,4 minutos, o que representa 7% do total de toda operação de fabricação da bobina, ver Gráfico 1.

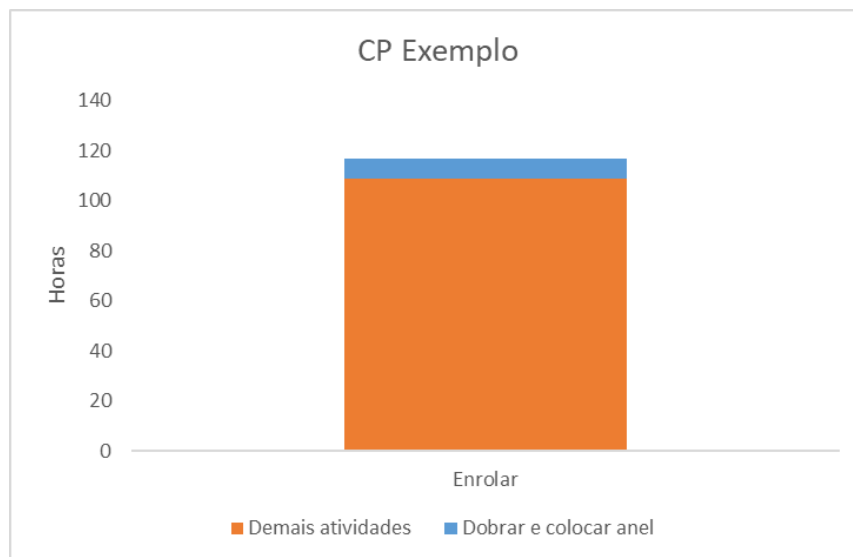


Gráfico 2: Atividades de enrolar bobina.

Fonte: Setor de Métodos e Processos WEG Transformadores (2020).

4.4 SITUAÇÃO ATUAL

Considerando que havia centros de trabalhos (CT) com baixa ocupação, foi decidido por realocar as atividades de dobra dos anéis internos e externos e a colocação dos anéis externos na bobina, para a área de solda de fios entrelaçados, como visto na Tabela 2, sobre taxa de ocupação dos centros de trabalho.



Figura 15: Área de solda, onde serão colocados os anéis de desvio de óleo.
Fonte: O autor (2020).

4.5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Após a mudança do processo verificou-se uma redução de 537,790 horas por ano de máquina parada (bobinadeiras) devido à transferência da atividade de colocação do anel de desvio de óleo externo e de 1.148,4 horas por ano devido à transferência da atividade de dobra dos anéis de desvio de óleo interno e externo para o setor de solda e por auxiliares de linha, demonstrado no Gráfico 2.

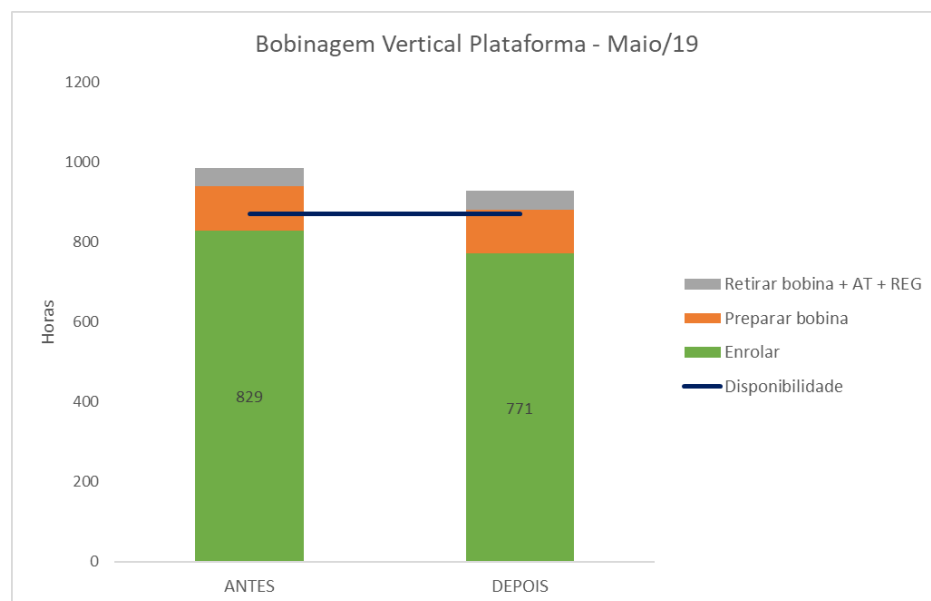


Gráfico 3: Comparação dos resultados
Fonte: O autor (2020).

Considerando o incremento de tempo no CT de solda de fios entrelaçado, obtivemos uma redução de custos da ordem de R\$16.548,82, conforme Tabelas 5 e 6.

Tabela 4: Resultados obtidos após transfer.do posto de colocação dos anéis.

Colocar anel externo			
Ganhos	Bobinagem redução	Solda incremento	Total
Kaizen	67885,23	28535,14	39350,09
WMS	18713,36	15295,9	3416,46

Fonte: O autor (2020).

Tabela 5: Resultados obtidos após transfer.do posto de colocação dos anéis.

Dobrar anel interno e externo			
Ganhos	Bobinagem redução	Solda incremento	Total
Kaizen	144962,53	60934,1	84028,43
WMS	39960,62	26829,26	13131,36

Fonte: O autor (2020).

Dados para análise de redução de tempo (01/05/2019 a 01/06/2019), CT 0501901 (bobinagem vertical plataforma).

Tabela 6: Análise da redução e ganho no tempo de enrolar bobina.

Operações	ANTES (h)	DEPOIS (h)	REDUÇÃO (%)
Disponibilidade	871,78	871,78	0,00%
Enrolar	828,93	770,9	7,00%
Preparar bobina	111,13	111,13	0
Retirar bobina	45,75	45,75	0
Retirar bobina AT	17,57	17,57	0
Retirar bobina REG	14,28	14,28	0
Total operações	1.017,66	959,63	5,70%
Sobrecarga	145,88	87,85	66,06%
Ocupação	116,73%	110,08%	5,70%
GANHO DO PROJETO NO MÊS		58,03	6,66%

Fonte: O autor (2020).

A Tabela 7 acima nos mostra a quantidade de horas economizadas dentro do período analisado para uma única máquina bobinadeira. Expandindo este resultado para as outras 5 máquinas, teremos um total de mais 290 horas de redução de ocupação dos gargalos, totalizando 348 horas de economia nas seis máquinas dentro do mês.

Este resultado, mostra que o caminho tomado para identificar, analisar e tomar a decisão de retirar o processo de colocação dos anéis de desvio externos do gargalo, que podem ser feitos em outra área, foi assertivo.

Após a conclusão do trabalho, o fluxograma de produção das bobinas que possuem os anéis de desvio de óleo pôde ser alterado, eliminando do processo nas máquinas, a parte onde os bobinadores devem fazer sua colocação ao final do enrolamento. Ficando o novo fluxograma da forma ilustrada na figura 16.

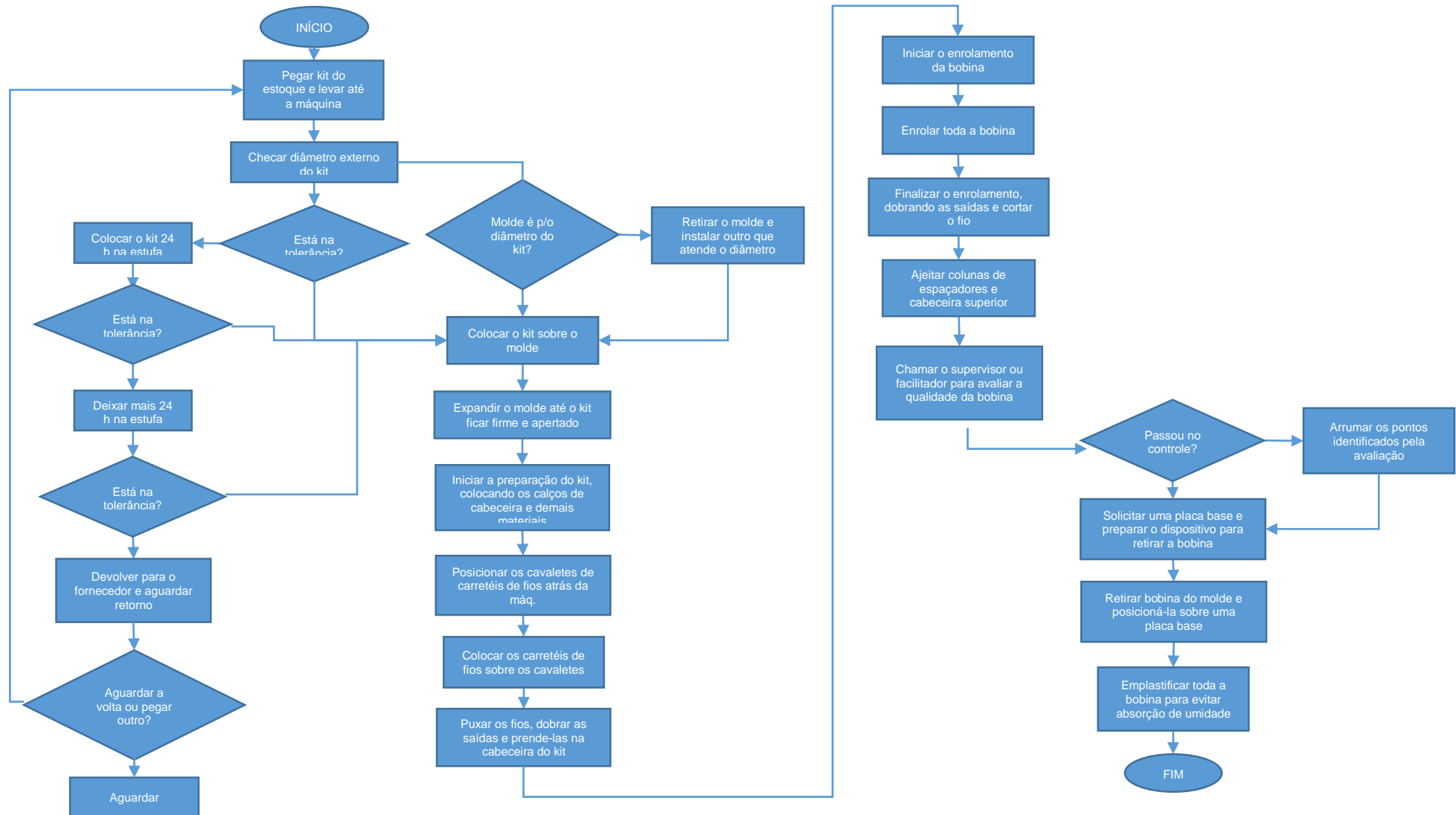


Figura 166: Novo fluxograma do processo de produção de Bobinas.
Fonte: O autor (2020).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A TOC, quando bem utilizada, pode ser uma ferramenta capaz de agregar valor as organizações que visam minimizar custos operacionais, sendo possível por intermédio dela a redução dos custos em processos que tem maior valor agregado e distribuir parte de suas operações, menos complexas, para outros setores ou máquinas com custo mais baixo.

O primeiro objetivo deste trabalho foi o de fazer o leitor entender um pouco mais da TOC utilizando uma linguagem clara, objetiva e utilizando a análise de um processo real de fabricação, para despertar seu interesse para esta ferramenta. Para isto, buscou-se detalhar o conceito da Teoria das Restrições, fazendo sua análise e depois a utilizando no caso demonstrado, onde, espera-se, tenha deixado claro sua importância.

Depois da conclusão desta etapa, é válido ressaltar a importância deste estudo para sua replicação nas demais máquinas do setor, uma vez que 66% das bobinas tem esta operação de colocar o anel externo, então podemos replicar isto para todo este volume dentro do setor, 19 máquinas, e para as outras fábricas de bobinas da WEG.

Com o fim de um processo de análise e implantação da TOC, deve-se agora voltar ao início, conforme os 5 passos da TOC, e verificar quais outras operações ainda podem ser retiradas do processo de enrolar pelo operador, para também serem feitas em outro local, sendo isto uma melhoria continuada. Sendo assim, foram identificadas outras operações que ainda estão passando por análises de viabilidade e outras mais já passaram por esta análise e foram retiradas das operações realizadas pelos bobinadores como a confecção dos cabos flexíveis para blindagem das saídas e a retirada de verniz isolante em algumas saídas de bobinas, processos estes que também foram absorvidos pela área de solda de entrelaçado.

Este trabalho teve também, como um de seus objetivos, fazer o leitor entender um pouco dos processos de produção de bobinas para transformadores de potência. Buscou-se, para isso, mostrar como se dá sua fabricação, o maquinário utilizado e a narrativa de seu processo de construção. Foram exibidas imagens das bobinas, componentes e máquinas para exemplificar ao leitor o que são e para que servem as bobinas de um transformador.

Como existem outras etapas dentro do processo de fabricação de bobinas, recomenda-se, para trabalhos futuros, que sejam feitas análises destas etapas paralelas que identifiquem gargalos nestas áreas e que também possam passar por melhorias, retirando algumas operações das mãos de operadores mais atarefados e passando para outros, equilibrando assim, a taxa de ocupação e minimizando os efeitos de lentidão do recurso gargalo.

REFERÊNCIAS

- COGAN, S. **Contabilidade Gerencial: uma abordagem da Teoria das Restrições**. São Paulo: Saraiva, 2007.
- COX, J. F.; SCHLEIER JUNIOR, J. G. **Theory of Constraints: Handbook**. New York: McGraw-Hill, 2010.
- FANTINI, R. **Influências e contribuições da teoria das restrições em sistemas de medição de desempenho: uma análise teórico-conceitual**. 2011. 142 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia, 2011.
- FERREIRA, A. H. **Aspectos importantes na implantação da teoria das restrições na gestão da produção: um estudo multicaso**. Ribeirão Preto, 2007.
- GOLDRATT, E. M. e COX, J. **A meta**. 4. ed. São Paulo: IMAN, 1990.
- HELERBROCK, R. **O que é um transformador?**. Brasil Escola. Disponível em: <<https://brasil.escola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-e-um-transformador.htm>>. Acesso em: 11 jun. 2020.
- HINCKELDEYN, J.; Dekkers, R.; Altfeld, N.; Kreutzfeldt, J. Expanding bottleneck management from manufacturing to product design and engineering processes. **Computers & Industrial Engineering**, v. 76, p.415-428, 2014.
- JUNIOR, D.J.A.; VIEGAS, R.A.; OLIVEIRA, A.L.; SIMÕES, A.S. A contribuição da programação linear e da teoria das restrições para o planejamento em médio prazo do mix de produção em uma fábrica de refrigerantes. In. XXXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2015, Fortaleza, CE. **Anais...** Fortaleza, CE, 2015.
- MABIN, V.J.; BALDERSTONE, S. J. The performance of the theory of constraints methodology, **International Journal of Operations & Production Management**, v. 23, p. 568 – 595, 2003.
- MACHADO, R.L.; BRITO, A.M.O. Análise da cadeia de suprimentos do etanol. In. XXXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2013, Salvador. BA. **Anais...** Salvador, BA, 2013.
- MAHESH, C.; GUPTA L. H. B. Theory of constraints: a theory for operations management, **International Journal of Operations & Production Management**, v. 28, p. 991–1012, 2008.
- MARTINS, E. **Contabilidade de custos**. 9ed. São Paulo: Atlas, 2003.
- NAKAGAWA, M. **ABC Custeio baseado em atividades**. São Paulo: Atlas, 1994.
- OLIVEIRA, J. A. do A. Aplicação da Teoria das Restrições em uma Industria Alimentícia. In. XXXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2016, João Pessoa, PB. **Anais...** João Pessoa, PB, 2016.

OGLETHORPE, D; HERON, G, Testing the theory of constraints in UK local food supply chain, **International Journal of Operations & Production Management**, v.33, p.1346-1367, 2013.

PIRES, F. B. de S. SÍLVIO, R. I. Theory of constraints contributions to outbound logistics. **Management Research Review**, v. 33, p. 683 – 700, 2010.

RICHARDSON, R. J. **Pesquisa social: métodos e técnicas**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 1999.

RODRIGUES, M. R. O. R.; PEIXOTO, J. K. C. Teoria das restrições como uma ferramenta de análise e solução de problemas: um estudo de caso em uma confecção na cidade de limoeiro do norte-CE. In. XXXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2015, Fortaleza, CE. **Anais...** Fortaleza, CE, 2015.

VEIT, D.R.; DRESCH, A.; NETO, S. L. H. C.; LACERDA, D.P.; CASSEL, R.A. Análise da governança da cadeia de suprimentos sob a perspectiva das etapas de focalização da toc - theory of constraints. In. XXXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2012, Bento Gonçalves. RS. **Anais...** Bento Gonçalves, RS, 2012.