

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

LEANDRO HAFFERMANN

**APLICAÇÃO DA FERRAMENTA SMED PARA REDUÇÃO DO TEMPO DE
PREPARAÇÃO DE MAQUINAS NA FABRICAÇÃO DE UM GERADOR**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA

2017

LEANDRO HAFFERMANN

**APLICAÇÃO DA FERRAMENTA SMED PARA REDUÇÃO DO TEMPO DE
PREPARAÇÃO DE MAQUINAS NA FABRICAÇÃO DE UM GERADOR**

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

Orientador: Prof. M.Sc. Wanderson S. Paris

CURITIBA

2017

TERMO DE APROVAÇÃO

APLICAÇÃO DA FERRAMENTA SMED PARA REDUÇÃO DO TEMPO DE PREPARAÇÃO DE MAQUINAS NA FABRICAÇÃO DE UM GERADOR

Esta monografia foi apresentada no dia 04 de março de 2017, como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Engenharia da Produção – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O candidato apresentou o trabalho para a Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após a deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. M.Sc. Wanderson S. Paris
Orientador

Prof. M.Sc. Jairo Muller Wolff
Banca

Prof. Dr. Paulo Daniel Batista de Sousa
Banca

Visto da coordenação:

Prof. Dr. Paulo Daniel Batista de Sousa

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, Lourival e Norma, aos quais me ensinaram o valor dos estudos. Também dedico a minha esposa Ana Paula pelo apoio em todos os momentos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me abençoado com muita saúde, força e sabedoria. Aos meus pais, Lourival Haffermann e Norma Becker Haffermann, os quais sempre me incentivaram e ensinaram valores que permitiram-me chegar até esta importante etapa da minha vida.

A minha esposa Ana Paula Haffermann que compartilhou os momentos de angústia, ansiedade, tristeza e alegria ao meu lado, compreendendo e apoiando em todas as decisões.

A empresa WEG S.A., por apoiar o desenvolvimento do trabalho e disponibilizar sua estrutura e recursos.

Ao meu orientador Wanderson S. Paris, pelo apoio, paciência, dedicação, disponibilidade e empenho em todo o processo do trabalho.

Ao gerente Marcelo Jorge Winter por proporcionar a realização deste curso e possibilitar o desenvolvimento intelectual.

Ao meu colega de trabalho Samuel Picollo, que me ajudou e apoiou com seus conhecimentos e colaboração neste trabalho.

Aos demais professores, que contribuíram no meu desenvolvimento profissional e pelo aprendizado no decorrer do curso, formando base para desenvolver este trabalho.

“Não é só com recursos financeiros que se implementam investimentos, mas, antes, com a vontade de fazer, a certeza de que somos capazes, o domínio da tecnologia e o ardor da juventude”

Egon João da Silva

RESUMO

HAFFERMANN, Leandro. Aplicação da ferramenta SMED para redução do tempo de preparação de máquinas na fabricação de um gerador. 2017. 52 f. Monografia. (Especialização em Engenharia da Produção) – Departamento de Gestão e Economia - DAGEE, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

A busca da melhoria da produtividade é objetivo comum para empresas, a fim de diminuir custos de produção. O trabalho propõe-se em identificar desperdícios de produção, em componentes do aerogerador na usinagem, a fim de reduzir tempos de preparação de alguns componentes, e conseqüentemente o aumento de capacidade produtiva, atendendo necessidade de mercado e da empresa. Para tal, o presente estudo, utiliza-se de alguns métodos da ferramenta Kaizen e SMED, avaliando o processo atual, propondo melhorias e aplicando. Apesar do momento atual de crise econômica, a empresa não deixa de investir em ganhos de produtividade. Porém a capacidade de investimento diminuiu, gerando assim algumas limitações nos projetos. Os resultados foram de grande valia, visto que houve melhora substancial nos tempos de preparação, atendendo a necessidade da empresa em relação ao aumento de capacidade, pois no início do trabalho partiu-se da capacidade de 4 conjuntos por mês, para atuais 10 conjuntos. As ferramentas KAIZEN/SMED devem fazer parte de um ciclo contínuo dentro de qualquer empresa, pois há necessidade constante de aperfeiçoamento dos processos.

Palavras-chave: SMED. Kaizen. Sistema Toyota de produção.

ABSTRACT

HAFFERMANN, Leandro. Aplicação da ferramenta SMED para redução do tempo de preparação de máquinas na fabricação de um gerador. 2017. 52 f. Monografia. (Especialização em Engenharia da Produção) – Departamento de Gestão e Economia - DAGEE, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

The pursuit of productivity improvement is a common goal for companies in order to reduce production costs. The aim of this work is to identify production waste in components of the wind turbine in the machining, in order to reduce preparation times for some components, and consequently increase production capacity, meeting market and company needs. For this, the present study uses some methods of the Kaizen and SMED tool, evaluating the current process, proposing improvements and applying. Despite the current economic crisis, the company is investing in productivity gains. However, the investment capacity has decreased, generating some limitations in the projects. The results were of great value, since there was a substantial improvement in the preparation times, taking into account the need of the company in relation to the capacity increase, since at the beginning of the work started the capacity of 4 sets per month, for the current 10 sets. KAIZEN / SMED tools should be part of a continuous cycle within any company, as there is a constant need for process improvement.

Keywords: SMED. Kaizen. Toyota Production System.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Os 7 desperdícios Lean	16
Figura 2: Etapas de um setup.....	21
Figura 3: Eletromotores Jaraguá.....	25
Figura 4: Parque fabril II, Jaraguá do Sul - SC	26
Figura 5: Vista explodida do motor elétrico	27
Figura 6: Gerador AGW 2.1 com imã permanente	27
Figura 7: Módulo e pino de troca rápida	31
Figura 8: Regiões usinadas destacadas em vermelho, HUB	32
Figura 9: Primeira operação	32
Figura 10: Segunda operação	33
Figura 11: Terceira operação, mesa com módulos de troca rápida	33
Figura 12: Primeira operação, setup externo	34
Figura 13: Antes e depois	35
Figura 14: Terceira operação, mesa inclinada hidráulica	35
Figura 15: Preparação do chassi sobre calços	36
Figura 16: Base de preparação Externa	37
Figura 17: Preparação do cubo sobre	37
Figura 18: Dispositivo de preparação externa do cubo	38
Figura 19: Cabeçotes para usinagem da carcaça	39
Figura 20: Cabeçotes para usinagem da roda polar	39
Figura 21: Armazenamento	39
Figura 22: Layout das máquinas.....	40
Figura 23: <i>Setup</i> manual do cabeçote	40
Figura 24: <i>Pick Up Station</i>	41
Figura 25: Placa com módulos de troca rápida.....	42
Figura 26: Troca manual do cabeçote angular.....	44
Figura 27: Troca automatizada do cabeçote angular	45
Figura 28: Limpeza da carcaça na máquina	45
Figura 29: Limpeza externa da carcaça	46

LISTA DE GRÁFICO/TABELAS

Gráfico 1: utilização do centro de trabalho	29
Tabela 1: Metodologia de análise e redução de tempos	43
Tabela 2: Plano de ação	43
Tabela 3: Aumento da disponibilidade do equipamento	46

LISTA DE QUADRO

Quadro 1: Os 7 desperdícios (adaptado de Ohno (1997)).....	17
Quadro 2: Os cinco princípios <i>Lean Manufacturing</i> (adaptado de Rodrigues, 2014)	17
Quadro 3: ganhos com aplicação da ferramenta em outra linha de produto (WEG, 2009).....	23
Quadro 4: centros de trabalho x componente	28
Quadro 5: Tempos em horas de usinagem dos componentes em máquinas	29
Quadro 6: Tempos atuais de usinagem.....	47

LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

SMED - Single Minute Exchange of Die

TPS - Sistema Toyota de produção

CNC - Comando Numérico Computadorizado

5S - Programa 5S

Lean manufacturing - manufatura enxuta

Shed - galpão industrial

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 OBJETIVO GERAL.....	13
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
1.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	14
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	14
2 REVISÃO DA LITERATURA	15
2.1 SISTEMA TOYOTA DE PRODUÇÃO	15
2.2 KAIZEN.....	18
2.3 SMED.....	20
3 ELEMENTOS METODOLÓGICOS	24
4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	25
4.1 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA	25
4.2 CONTEXTUALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DO PROBLEMA	28
4.3 APLICAÇÃO DA FERRAMENTA SMED	30
4.3.1 Mandrilhadora M4.....	30
4.3.2 Mandrilhadora Mitsubishi	38
4.3.3 Torno Vertical Rafamet CNC.....	42
4.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS	46
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	49
REFERÊNCIAS	51

1 INTRODUÇÃO

Com o aumento da competitividade mundial, as empresas necessitam buscar maneiras de reduzir os custos de fabricação sem comprometer a qualidade. Para isso é necessário que tenham processos robustos com mínimo de perdas possível.

Sendo assim, o custo do produto ainda é um dos fatores de concorrência entre empresas, pois qualidade é um requisito mínimo de sobrevivência no mercado. Um dos problemas que atinge diretamente o custo do produto é a demora para se preparar ou realizar um *setup* de uma máquina operatriz. Tal fato se agrava ainda mais se o produto é customizado, pois não há receptibilidade do processo e acaba gerando necessidade de um alto número de preparações da máquina.

Logo, o tema deste estudo gira em torno da análise de como fazer para reduzir os desperdícios do processo de usinagem de componentes do gerador AGW 2.1. Para tanto, optou-se pela aplicação de ferramentas como SMED/ Kaizen, objetivando a redução do tempo de *setup* e conseqüentemente a redução de custos de produção e o aumento da disponibilidade do recurso, atuando com a ferramenta na preparação das máquinas.

A necessidade gerada pela empresa em alterar a demanda e reduzir custo para manter o produto no mercado justifica o presente estudo. Uma rápida caminhada pela fábrica, enxerga-se que o operador muitas vezes tem dificuldade em preparar o produto na máquina e necessita de muitas ferramentas auxiliares para tal. Dentro deste contexto faz-se necessário utilizar uma ferramenta que melhore o tempo de preparação do produto e das ferramentas no uso do processo, a fim de diminuir o esforço do operador e conseqüentemente o tempo de processamento do produto.

1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo principal é diminuir o tempo de preparação de componentes do gerador eólico, hub, carcaça estator, carcaça principal, roda polar, chassi, cubo e eixo, e conseqüentemente aumento da disponibilidade dos recursos, aumento da produtividade e, redução de custo.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para se atingir o objetivo geral é necessário trabalhar com os seguintes objetivos específicos:

- Avaliar o processo atual considerando a usinagem do hub, carcaça estator, carcaça principal, roda polar, chassi, cubo e eixo.
- Propor melhorias para diminuição dos desperdícios.
- Aplicar as melhorias e analisar os ganhos.

1.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O método de pesquisa utilizado nesse estudo foi a pesquisa descritiva aplicada através de dados de tempo, identificar problemas para agir e melhorar os tempos de *setup* e consequentemente, aumento da capacidade de produção. Para tal, foram adotadas metodologias das ferramentas *KAIZEN* e no estudo de ferramentas *SMED*, através de filmagens e acompanhamentos *in loco*, para detectar os problemas com base nos desperdícios abordados na ferramenta.

Através de um grupo de trabalho, foram analisados os vídeos realizados acerca do produto, buscando soluções para diminuir o tempo desperdiçado nas máquinas, a fim de diminuir o tempo de processamento do produto.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

A monografia está estruturada em cinco capítulos, descritos a seguir:

Neste capítulo é apresentada uma introdução na qual se descreve os objetivos, justificativa para o desenvolvimento do estudo, metodologia e a estrutura do trabalho.

No capítulo II é apresentado o referencial teórico utilizado como embasamento para realização do trabalho, abordando o sistema Toyota de produção, *Kaizen* e *SMED*.

O capítulo III descreve os aspectos do problema, no qual são correlacionados alguns aspectos relacionados no capítulo anterior com o problema envolvido no presente trabalho.

No capítulo IV são apresentados os resultados e análise do mesmo.

Nas considerações finais são apresentadas as conclusões sobre o desenvolvimento do trabalho e sugestões para trabalhos futuros.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo apresenta as contribuições teóricas que possibilitaram a realização do presente trabalho de conclusão de curso. Todos os tópicos relacionados ao tema e a problemática estão embasados em obras renomadas para enriquecer a pesquisa e contribuir no desenvolvimento prático.

2.1 SISTEMA TOYOTA DE PRODUÇÃO

Pode-se dizer que o Sistema Toyota de Produção (TPS) surgiu, segundo Rodrigues (2014) após a derrota do Japão na segunda guerra mundial, com a necessidade de melhorar a produtividade e qualidade da indústria japonesa, em detrimento a indústria americana, pois a indústria automobilística japonesa não sobreviveria da maneira que estava trabalhando.

Ohno (1997) destaca que cada mão de obra americana equivaleria a nove japoneses e precisavam urgentemente criar um sistema de produção japonês que se pudesse produzir em massa uma quantidade menor de tipos de carros e, ao mesmo tempo, reduzir os custos de produção, pois os japoneses não aceitavam a condição de que os trabalhadores dos Estados Unidos produzissem nove vezes mais.

No modelo fordista a produção era concentrada em grandes volumes de um determinado produto, enquanto no modelo TPS foi desenvolvida a produção de pequenos lotes de maneira mais flexível, pois não adiantava produzir muito e ter que estocar, já que não era possível estimar quantos automóveis seriam vendidos (ROSER, 2016).

O TPS tem como objetivo principal aumentar a produtividade reduzindo constantemente os desperdícios (Bezerra, 2015, apud Ohno, 1997), ou seja, sempre trabalhar para evitar os desperdícios encontrados através de constantes monitoramentos do processo. Rodrigues (2013) corrobora essa ferramenta, acrescentando que o principal diferencial da ferramenta é a visão de desperdício em todas as etapas do processo, na liderança e no comprometimento de todos os colaboradores. Ohno (1997) ainda acrescenta que além do objetivo principal, o TPS tem como pilares ferramentas como *Just-in-time* e automação (automação com toque humano).

O sistema atraiu realmente os interesses da indústria Japonesa somente após 1973 com a crise do petróleo desencadeada pelo embargo da Arábia Saudita, na época em que os japoneses estavam acostumados com a inflação alta e grandes ganhos da indústria, repentinamente houve a crise e depararam-se com crescimento zero. Foi assim que, segundo Ohno (1997) os japoneses

começaram a ver os resultados da implacável perseguição da Toyota em relação a eliminação dos desperdícios.

Roser (2016) resume que o STP é o conjunto de métodos criados pelos japoneses e alguns outros trazidos do ocidente que foram adaptados, dos quais podem-se citar os principais:

- 5S;
- 5 porquês;
- Jidoca;
- Kanban
- Troca rápida de ferramentas (TRF);
- Manutenção produtiva total (TPM).

De acordo com Ohno (1997) a Toyota identificou atividades que não agregam valor ao cliente, listando-se os sete desperdícios que até hoje são amplamente utilizados em todas as indústrias, conforme pode-se verificar na figura 1.



Figura 1: Os 7 desperdícios Lean
Fonte: KITSUNE CONSULTORIA (2016).

Muitos autores têm diferentes interpretações dos desperdícios. Dos autores pesquisados neste trabalho, que descrevem os sete desperdícios, a que mais chamou atenção pela simplicidade da descrição foi a de Ohno (1997), descrito no quadro 1.

Superprodução	Diz respeito à produção em excesso, ou seja, em quantidades elevadas ou no tempo errado, o que gera estoques adicionais e tende a omitir problemas em todo o processo
Espera	Está associado ao tempo parado da mão de obra, peças ou equipamentos e pode-se dividir em espera do lote ou espera do processo; no entanto, os dois tempos de espera são significativos e tendem a trazer desperdícios.
Transporte	Causado principalmente por <i>layouts</i> mal projetados, o que tem como consequência uma grande — e muitas vezes desnecessária — movimentação de peças, estoques e equipamentos, gerando custos e desperdícios.
Processamento	Procedimentos e atividades desnecessárias ou superdimensionadas, utilização de equipamentos dimensionados de maneira inadequada, alocação de mão de obra não compatível, entre outros.
Estoque	Causado pela estocagem de peças ou produtos semiacabados em quantidades superiores ao realmente necessário.
Movimentação	Relacionado principalmente ao movimento interno dos operadores nas estações de trabalho para realizar suas tarefas específicas diante do posicionamento das ferramentas, do <i>layout</i> e da localização dos equipamentos, dos aspectos ergonômicos dos equipamentos e do próprio setor produtivo.
Defeitos	Provocado pela produção de bens ou serviços fora das especificações e necessidades dos clientes internos ou externos, o que provoca retrabalho ou refugo, acarretando elevados custos e desperdícios para a organização

Quadro 1: Os 7 desperdícios

Fonte: Adaptado de OHNO (1997)

No ocidente, para não adotar o nome da Toyota, foi adotado o nome de *lean manufacturing*, ou no Brasil manufatura enxuta. Wang (2011) explica que a ferramenta tem como foco principal melhorar a satisfação do cliente, este orienta o que quer receber e como quer receber. Rodrigues (2014) relata cinco princípios que devem ser adotados nas organizações para se eliminar o desperdício, que se pode verificar no quadro 2.

Os Cinco princípios <i>Lean</i>
1 – Especificar o que cria e o que não cria valor para o cliente
2 – Identificar os fluxos de valor e eliminar atividades que não acrescentam valor
3 – Criar um fluxo contínuo com as atividades que criam valor
4 – Deixar o cliente “puxar” o fluxo de valor
5 – Empenhar-se na perfeição através da redução contínua do desperdício.

Quadro 2: Os cinco princípios *Lean Manufacturing*

Fonte: Adaptado de RODRIGUES (2014)

Dentro do modelo do *Lean manufacturing* encontra-se várias ferramentas para auxiliar a trabalhar com os princípios citados no quadro 2. Dentre elas pode-se citar a ferramenta *Kaizen* como sendo uma das principais que trabalham na melhoria contínua para redução de desperdícios; e o SMED que trabalha na troca rápida. Ambas serão utilizadas neste trabalho.

2.2 KAIZEN

Roser (2016) relata que Eiji Toyoda trouxe a ideia do *Kaizen* de uma visita à fábrica da Ford em 1950. Segundo relato, ele ficou admirado como a Ford encorajava os operários a darem ideias de melhorias, que, infelizmente, foram abandonadas pela Ford mais tarde, mas funcionaram muito bem na Toyota e que hoje é a base de qualquer empresa.

O termo *Kaizen*, a grosso modo, significa modificar para melhor, não apenas em quantidade de produtos produzidos, mas também melhorar a vida pessoal, social e profissional, descreve Bartoli (2010) apud Imai (1994). Nesta ferramenta deve se ter o envolvimento de todo corpo da empresa, ou seja, todos os níveis, a fim de se alcançar os melhores objetivos.

Para que se consiga realizar as mudanças, as pessoas precisam querer mudar, pois muitas vezes existe a resistência à mudança, ocorrendo assim, a necessidade de estimular as pessoas a visualizarem a melhoria como benéfico próprio ou até como satisfação. Basin (2015) relata que as pessoas tendem a mudar quando a mudança é de seu interesse. Acrescenta ainda que as pessoas geralmente prosperam sob um desafio positivo, mas também desanimam em um ambiente cujo clima é negativo.

Wang (2011) contextua *Kaizen* como sendo um sistema de melhoria contínua em qualidade, tecnologia, processos, cultura da companhia, produtividade, segurança e da liderança, buscando melhorar um processo ou um produto específico. Wilson (2010) complementa que *Kaizen* é um conceito de melhoria de processos, realizado em pequenos passos e contínuos. Algumas vezes a melhoria é pequena e de difícil mensuração, mas os resultados e efeitos são significantes.

Kaizen é uma ferramenta para eliminar os desperdícios e cada contribuição é importante para o objetivo maior da melhoria. Ela faz com que as pessoas sejam estimuladas e contribuam para o trabalho da melhoria. Shingeo (2000) comenta que o *Kaizen* é uma ferramenta do STP muito utilizado por empresas para obter melhorias em processos e máquinas, destacando-se:

- Implementação em curto prazo de um projeto de melhoria;
- A implementação compreende o treinamento, análise e a reorganização física de uma linha ou área;
- Formação de um time multidisciplinar buscando a utilização de todo o potencial do grupo;
- Os recursos disponibilizados são focalizados em um objetivo específico e delimitados;

- A intensidade e a urgência obtidas rompem as resistências ao novo paradigma forçando soluções;
- Os resultados são significativos, claros e rápidos, gerando entusiasmo e satisfação.

Para realização de um *Kaizen* existe uma metodologia a ser aplicada. Os trabalhos devem seguir um cronograma com horários e atividades definidas, no qual os participantes do time criado foquem na solução dos problemas encontrados. Segundo Andere (2012) *apud* Nazareno a ferramenta é dividida em três etapas:

- *Pré-Kaizen*: primeiramente a etapa que define o trabalho, posteriormente a equipe, define-se os objetivos, levanta-se os dados preliminares, acontece a primeira reunião e por fim inicia-se o plano de ação;
- *Semana Kaizen*: Iniciam-se os trabalhos com dedicação total da equipe, no final da semana, apresenta-se os resultados obtidos;
- *Pós Kaizen*: acompanhamento das melhorias, verificação das pendências do plano de ação e confirmação dos resultados.

Womack e Jones (2006) relata que mesmo com a aplicação das ferramentas, o *Kaizen* não é perfeito, ou seja, não se consegue eliminar todos os desperdícios, por isso a necessidade de sempre realizar eventos *Kaizen* para sucessivamente estar encontrando novos desperdícios e trabalhar para reduzi-los.

A ferramenta *Kaizen* é considerada como um método que é implantado gradualmente, em etapas e suas atividades devem ser trabalhadas como objetivos, sua essência é orientada para times de trabalho com envolvimento total, através de sugestões, análises e propostas de alterações para melhorias de forma contínua em fluxos de trabalho, arranjo físico, métodos de trabalho, equipamentos e instalações sugere CORREA; CORREA (2006).

Pode-se dizer que o *Kaizen* é um processo de melhoria contínua, sendo que todas as pessoas devem buscar constantemente a redução de desperdícios, como transporte desnecessário, espera do material ou mão de obra, processamento impróprio, movimentação de pessoas, produzir mais do que o necessário, retrabalhos e, por fim, estoques. Denomina-se desperdício como sendo qualquer atividade que não agregue valor ao produto, o que o cliente não vê, não paga. Basin (2013) afirma que o *Kaizen* se concentra na busca constante de avanços em qualidade, redução de custos, redução de tempos e melhorias em produtos.

Os resultados alcançados com a realização dos *kaizens* são notáveis e em tempo real, ocorrendo geralmente dentro de uma semana e, em alguns casos, estende-se um pouco além disso. Depois de implantado o *Kaizen*, ainda sairá com uma grande lista das oportunidades de melhorias, que poderão ser analisadas posteriormente para futura implantação, relata Wang (2011). Womack e Jones (2002) descrevem que os resultados e benefícios da ferramenta são fáceis de se demonstrar.

2.3 SMED

O modelo usado por Shingo (2000), chamada *Single Minute Exchange of Die*, popularmente conhecido por *SMED* ou TRF, trata a redução de tempo de troca de ferramenta como sendo extremamente importante para a eficácia do equipamento, transformando *setups* internos em externos, além de reduzir ou eliminar outros tipos de desperdícios já listados anteriormente. Segundo Roser (2016), destaca como sendo uma técnica destinada a realização do *setup* em tempos de um dígito de minuto, ou seja, inferior a dez minutos.

Existe a possibilidade de nem sempre ser possível que o *setup* seja realizado em menos de dez minutos, porém em uma grande porcentagem dos casos esse tempo é tangível. Para aqueles casos em que não é possível, Shingo (2000) afirma que geralmente reduções drásticas no tempo são alcançadas, observando-se os ganhos de maneira direta.

Neste método define-se o que mudar para que a máquina fique o máximo de tempo funcionando convertendo os tipos de *setup*, que são externos e internos. Define-se *setup* externo como sendo as atividades possíveis de se realizar sem que o processo pare, e o interno como as atividades que se executa com a parada do processo.

Para Zandín (2001) a troca de *setup* compreende o tempo total de troca de um produto A para um produto B, passando desde a parada do produto A atual, toda a preparação do produto B, até que este último seja produzido dentro dos requisitos de qualidade, não considerando preparações externas.

Segundo Monteiro e Machado (2011) apud Shingo (2000) esta ferramenta é uma abordagem científica para redução de *setup*, podendo ser aplicada em qualquer fábrica e em qualquer máquina. No processo produtivo podemos considerar que um dos maiores desperdícios é o tempo de *setup* entre as operações, sendo que muitas vezes é necessário e habitual em um processo produtivo de produtos customizados. Desta forma, este necessita ser o mais enxuto possível e muito bem planejado, para que haja o mínimo de tempo possível para a atividade.

Paris e Guolo (2015) corrobora o pensamento de Zandin (2001) descrevendo o tempo de *setup* como sendo o tempo da operação para se alterar totalmente as condições de um produto atual, para o início da produção de um produto diferente, sendo que em linha de produção esse tempo decorre até que o resultado seja uma peça fabricada sem defeito, nas condições de projeto.

Henry (2013) detalha um pouco mais a ferramenta SMED. O autor divide a troca rápida em três grandes componentes, sendo limpeza da máquina, *setup* e início da operação, conforme segue descritas:

- Limpeza é a remoção de todos os materiais do último lote produzido, incluindo limpeza da máquina, ferramental, dispositivos e até limpeza da área de trabalho.
- *Setup* compreende a montagem de todos os dispositivos e ferramentas necessárias para a operação do próximo componente.
- Início da operação ou *startup*, que é a fase de ajustes, iniciando a produção do componente.

Pode-se então definir *setup* como o tempo decorrido entre a produção da última peça do produto do tipo A, até a produção da primeira peça tipo B, conforme definição de projeto, conforme pode ser verificado na figura 2. O *setup* rápido busca reduzir o tempo sem produção que pode ser verificado a seguir.



Figura 2: Etapas de um setup
Fonte: WEG (2009).

Guilherme (2012) apud Shingo (2000) separa em técnicas o método de implantação de um SMED. Estas técnicas estão estruturadas em oito, que estão listadas conforme segue:

1. Separação das operações de *setup* interno e externo: deve-se identificar todas as atividades de *setup* sem exceção, analisar minuciosamente e determinar o que fazer externo e interno.
2. Converter *setup* interno em externo: consiste em uma nova análise das operações para verificar se alguma atividade foi classificada de maneira incorreta, como interna, e buscar alternativas para converter os *setups* em externos. Com este passo passa-se a liberar maior tempo para máquina produzir.
3. Padronização da função e não a forma: padronizar os locais de encaixe ou engate, de modo que seja simples e de rápida colocação do dispositivo na máquina, evitando perda de tempo por posicionamento.
4. Utilizar grampos funcionais ou eliminar os grampos: este passo visa a eliminação de parafusos no *setup*, pois estes consomem maior tempo para monte e desmonte. Deve-se procurar dispositivos de fixação rápida de modo que o tempo da mesma seja o menor possível.
5. Utilizar dispositivos intermediários: procurar utilizar dispositivos de fixação para encaixes, para facilitar a montagem, como gabaritos.
6. Adotar operações paralelas: Disponibilizar o maior número possível de mão de obra para procurar agilizar o processo de *setup* disponibilizando a máquina para funcionamento. Se for necessário mais de um operador para realizar a atividade, disponibilize, pois reduz as perdas com deslocamento e o tempo de máquina improdutiva, um dos principais problemas de improdutividade.
7. Eliminar ajustes: testes e ajustes são utilizados para chegar aos padrões dimensionais de projeto. Porém deve-se padronizar ao máximo o produto, sendo necessários ajustes para poucas dimensões, podendo-se estudar a possibilidade de utilização de interruptores de fim de curso ou gabaritos, minimizando a interferência do operador em ajustes.
8. Mecanização: para máquinas de grande porte, mecanização é aconselhável. Entretanto sabendo que o processo de mecanização é caro e, às vezes, inviável, é necessário um bom estudo. Este último ponto é recomendado depois das alternativas acima já terem se esgotado.

Com a aplicação destas oito técnicas é possível garantir uma redução significativa no tempo de *setup* do produto. No quadro 4 pode-se observar a possibilidade de ganhos de aplicação da metodologia que foi aplicada na fabricação de outro tipo de produto na própria empresa, verifica-se que as possibilidades de ganhos são reais.

Fabrica XXX		Processo: Centro de Inserção RWE-XXX				Data: XXX		
Indicador		Calculo/Definição	Anterior ao Kaizen		Após Kaizen		% Melhoria Cronoanálise	% Melhoria Histórico 2 semanas
			Cronoanálise	Histórico 2 semanas	Meta	Histórico 2 semanas		
Tempo de Setup	Tempo de setup Parcial (min.)	Tempo de parada do centro desde a ultima peça boa do lote anterior até primeira peça boa do próximo lote	15,5	18	12,5	10,5	32,3%	41,7%
	Tempo de setup Completo (min.)		67	45	-	21	68,7%	53,3%
	Tempo de setup Médio (min.)	Cadastrado no sistema	4,7	6,1	-	3,7	21,3%	39,3%
Produtividade*	Capacidade do Centro	Peças/Dia	550	517	-	572	4,0%	10,6%
	Ganhos Obtidos	Peças/Dia	-	-	-	22	-	-
		Minutos/Dia	-	-	-	33	-	-

Quadro 3: ganhos com aplicação da ferramenta em outra linha de produto
 Fonte: WEG (2009).

3 ELEMENTOS METODOLÓGICOS

Para realização deste estudo, utilizou-se o tipo de pesquisa exploratória. A metodologia empregada em uma pesquisa representa um conjunto de atividades pelo qual se chega a natureza de um determinado problema. Trivinos (1987) diferencia a pesquisa em três tipos: exploratórias, descritivas e experimentais, que podem ser tratadas isoladas ou combinadas. Na exploratória, geralmente, deve ser utilizada para aumento da compreensão devido a existir pouca teoria. A descritiva, busca-se através de dados mensurados, descrever alguma situação e, por último, na experimental realiza-se experimentos para se determinar a causa, controlando as variáveis que nela atuam.

Com relação aos requisitos teóricos, os elementos metodológicos basearam-se em revisão bibliográfica, ou seja, sistematizado e desenvolvido através de pesquisas de materiais impressos como livros, bem como materiais de acesso eletrônico disponíveis ao público em geral.

Esse estudo visa resolver um problema de produtividade na empresa, de forma a aplicá-lo na resolução deste, no dia a dia da empresa, promovendo diminuições de desperdícios e conseqüentemente ganhos de produtividade e também aprendizado científico com a ferramenta SMED.

A coleta de dados se deu na observação e filmagens realizadas nas máquinas, que após analisadas e discutidas segundo metodologias das ferramentas pesquisadas, com objetivo de buscar maneiras de redução no tempo de produção do produto. Vale salientar que as coletas ocorreram nos três turnos, observando-se as práticas de cada operador, que em algumas ocasiões são diferentes.

A base deste estudo se dá na identificação, análise e implantação de melhorias com objetivo de minimizar perdas produtivas nas máquinas que produzem o aerogerador. Este método foi definido através da revisão bibliográfica acerca da ferramenta SMED baseado na teoria dos autores apresentados no capítulo dois, que trata da fundamentação teórica.

Por fim, as informações levantadas/observadas neste estudo e a literatura se completam, revelando-se que as ferramentas podem ser empregadas com sucesso em um meio produtivo, apresentando resultados positivos.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Diversas empresas têm buscado métodos para melhorar o desempenho dos processos industriais para atender a necessidade de redução de custos e melhoria da produtividade. Para tal necessitam buscar constantemente inovações para reduzir os custos e o tempo de produção, para que possa, em caso de aumento de demanda, atender ao mercado.

4.1 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

A empresa WEG Equipamentos Elétricos S/A foi fundada em 16 de setembro de 1961 por Werner Ricardo Voigt, Eggon João da Silva e Geraldo Werninghaus com a união de um capital equivalente ao de três carros Fuscas (US\$12.000,00) e inicialmente chamada de Eletromotores Jaraguá Ltda., conforme a Fig. 3. O nome WEG vem da junção das letras iniciais dos três fundadores, um eletricitista, um administrador e um mecânico, conforme site institucional.



Figura 3: Eletromotores Jaraguá
Fonte: WEG (2016)

Hoje, a WEG é a maior fabricante latino-americana de motores elétricos e uma das maiores do mundo. Atua também nas áreas de comando e proteção, variação de velocidade, automação de processos industriais, geração e distribuição de energia, tintas e vernizes industriais, aerogeradores e redutores de velocidade.

Atualmente a empresa está dividida em cinco unidades de negócios: Unidade de negócios Automação, unidade de negócios Energia, unidade de negócios Transmissão e Distribuição de energia, unidade de negócios Motores e unidade de negócios Tintas, a Fig. 4 mostra o parque fabril II em Jaraguá do Sul, local que concentra a maior parte das atividades da empresa.



Figura 4: Parque fabril II, Jaraguá do Sul - SC
Fonte: WEG (2016)

A empresa do grupo WEG escolhida para a realização deste trabalho faz parte da unidade de negócio Energia, localizado em Jaraguá do Sul.

As ações ocorreram na seção de Usinagem Pesada que faz parte do Departamento de Usinagem. A unidade de negócio Energia foi fundada em julho de 1980 e produz hoje motores síncronos, motores de indução trifásicos de grande porte, tacogeradores, geradores para grupo geradores, motores de corrente contínua, hidrogeradores, turbo geradores e o mais novo ramo de produtos, os aerogeradores. Possui unidades em Jaraguá do Sul – SC, São Bernardo do Campo – SP e Tamil Nadu - Índia (Motores de grande porte e geradores); Joaçaba – SC (Turbinas Hidráulicas) e em Mineapolis nos EUA.

O produto inicial da WEG foi o Motor Elétrico que é uma máquina destinada a transformar energia elétrica em energia mecânica, conforme a Fig.5. O motor de indução é o mais usado de todos os tipos de motores, pois combinam as vantagens da utilização de energia elétrica: baixo custo, facilidade de transporte, limpeza e simplicidade de comando, com sua construção simples, custo reduzido, grande versatilidade de adaptação às cargas dos mais diversos tipos e melhores rendimentos. Os tipos mais comuns são: Motores de Corrente Contínua e Motores de Corrente Alternada.



Figura 5: Vista explodida do motor elétrico
Fonte: WEG (2016)

O produto escolhido para realização deste trabalho é o gerador AGW 2.1, produzido pela unidade de negócio Energia em Jaraguá do sul. O gerador é fruto de uma parceria tecnológica da WEG com a americana NPS no ano de 2013, para introduzir no mercado turbinas com a tecnologia de ímãs permanentes no mercado sul-americano. A figura 6 ilustra o gerador, onde somente alguns componentes serão trabalhados.

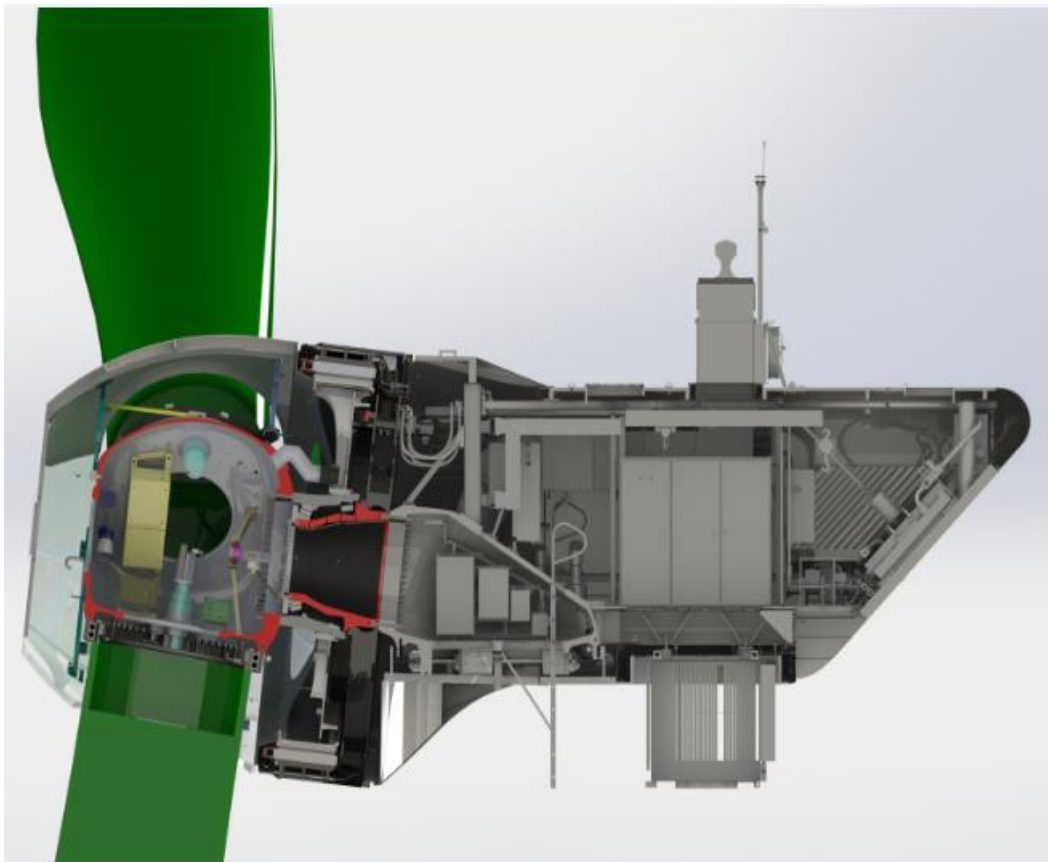


Figura 6: Gerador AGW 2.1 com ímã permanente
Fonte: WEG (2016)

4.2 CONTEXTUALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

O tema foi escolhido devido a necessidade do aumento de produtividade, trabalhando na redução dos desperdícios nos *setups*, visto que, por se tratar de um novo produto no mercado, estudos mostravam grande aumento de demanda e, conseqüentemente, redução de custos de produção por meio de menor tempo de produção, aumentando a lucratividade.

Por se tratar de um produto relativamente novo na produção, convivendo com as demais linhas de produtos já fabricados, utilizando em alguns casos o compartilhamento de recursos produtivos, não havendo máquinas dedicadas ao produto pelo alto investimento. Devido a isso, algumas máquinas se tornaram um grande gargalo, pois todos os produtos tem seu ciclo produtivo alto por serem produtos de grande porte e customizados como motores e geradores.

Do universo de setenta máquinas produtivas no departamento, sete são usadas para usinagem da carcaça principal, carcaça estator, eixo, cubo, chassi, hub e roda polar, as quais estão listadas conforme tipo de material usinado no quadro 4, utilizando-se apenas máquinas operatrizes para realização deste trabalho.

Centros de Trabalho (Operações de Usinagem)	Componentes Aerogerador						
	Carcaça Principal	Carcaça Estator	Roda Polar	Hub	Chassi	Cubo	Eixo
Torno Vertical Rafamet CNC (Torneamento, Fresamento e Furação)		X	X				
Torno Vertical Taurus CNC (Torneamento e Furação)						X	X
Torno Vertical Youji CNC (Torneamento e Furação)						X	X
Fresadora Zayer (Fresamento, Furação e Mandrilamento)	X						
Mandrilhadora Mitsubishi (Fresamento, Furação e Mandrilamento)		X	X				
Mandrilhadora Taurus M4 (Fresamento, Furação e Mandrilamento)				X	X	X	
Fresadora Portal Hartford (Fresamento e Furação)					X	X	

Quadro 4: centros de trabalho x componente
Fonte: Autoria própria.

Os tempos em horas de usinagem de cada componente foram retirados dos tempos médios calculados pela engenharia industrial para cada máquina, conforme apresentados na quadro 5.

Centros de Trabalho (Operações de Usinagem)	Componentes Aerogerador						
	Carcaça Principal	Carcaça Estator	Roda Polar	Hub	Chassi	Cubo	Eixo
Torno Vertical Rafamet CNC (Torneamento, Fresamento e Furação)		130	77				
Torno Vertical Taurus CNC (Torneamento e Furação)						70,8	70,8
Torno Vertical Youji CNC (Torneamento e Furação)						71	71
Fresadora Zayer (Fresamento, Furação e Mandrilamento)	122,5						
Mandrilhadora Mitsubishi (Fresamento, Furação e Mandrilamento)		150	82				
Mandrilhadora Taurus M4 (Fresamento, Furação e Mandrilamento)				164,5	14,5	6,5	
Fresadora Portal Hartford (Fresamento e Furação)					15,5	15	

Quadro 5: Tempos em horas de usinagem dos componentes em máquinas
Fonte: Autoria própria.

No Gráfico 1 temos os centros de trabalho destacando os de maior tempo de usinagem com as operações. Nota-se que três componentes ocupam muita carga de máquina.

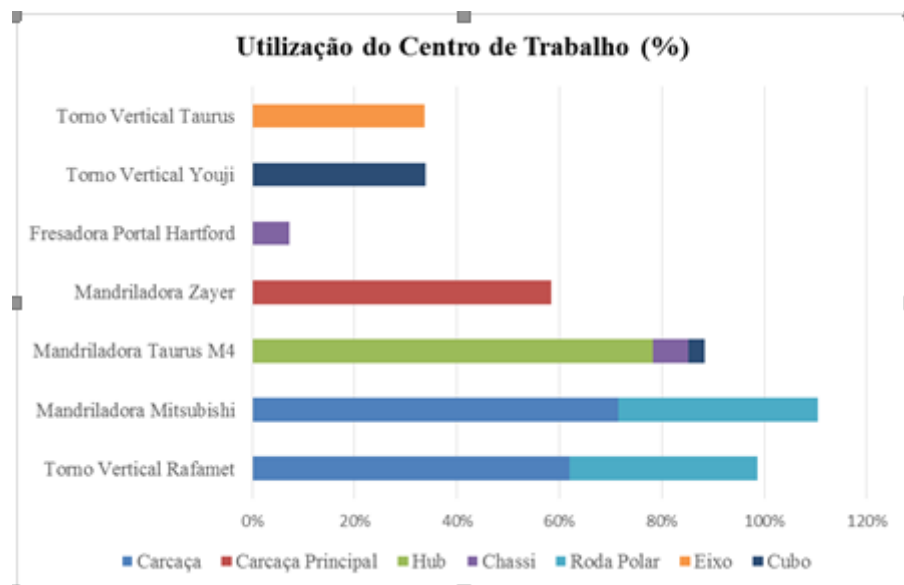


Gráfico 1: utilização do centro de trabalho
Fonte: Autoria própria

Visto que os recursos estão disponíveis em três turnos, totalizando 21 horas, correspondendo a 420 horas disponíveis no mês (horários de almoço, ginástica laboral e outros são extraídos do tempo total), tem-se capacidade pelo centro gargalo que são as Mandrilhadoras Taurus M4, Mandrilhadora Mitsubishi e Torno Vertical Rafamet CNC, para produzir apenas duas unidades por mês, cuja solicitação seria de pelo menos quatro conjuntos de aerogeradores.

4.3 APLICAÇÃO DA FERRAMENTA SMED

As oportunidades de melhorias surgem diante de dificuldades encontradas no dia a dia da companhia. Com a vinda da nova linha de produtos para a WEG, os aerogeradores, diversos obstáculos surgiram por se tratar de uma linha de produção padrão e em série, normalmente as empresas optam por capacitar a fábrica com máquinas específicas e dedicadas ao produto. Porém, avaliou-se a capacidade produtiva, máquinas e dispositivos e assumiu-se o compromisso que haveria condições de fabricar 4 conjuntos de aerogeradores por mês com os recursos que estavam disponíveis, trabalhando a 100% de eficiência.

Assim, as vendas de aerogeradores começaram a explodir e, conseqüentemente, fabricar mais máquinas em menos tempo foi o segundo desafio. Então, passou-se a avaliar a carga das máquinas a fim de priorizar as mais críticas e trabalhar na eliminação dos desperdícios *Kaizen* e troca rápida de ferramentas SMED.

Visando melhorar os tempos apresentados, deu-se início a aplicação da técnica apresentada neste estudo pelo grupo de trabalho montado. Iniciou-se com a filmagem das operações nas máquinas nos três turnos. A partir das filmagens o grupo se reuniu para analisá-las. Várias ações foram verificadas em cada máquina.

4.3.1 Mandrilhadora M4

A mandrilhadora M4 foi a primeira a ser investida em trabalhos de SMED visto a necessidade de atender a produção do Hub, componente a qual foi destinada no início da linha de aerogeradores. O Hub é um componente com geometria esférica e possui nove faces com usinagens, o componente mais complexo e de maiores *setups* da linha.

Desta forma, iniciou-se o estudo por este componente e por esta máquina, pois ainda não havia conhecimento e domínio do processo e foi visto pelo grupo como primeiro grande desafio.

Módulos de troca rápida

Com a dificuldade encontrada com o Hub, passou-se a procurar soluções no mercado que auxiliassem no *setup* deste componente, alguns sistemas foram estudados até encontrar os módulos de troca rápida, que estão disponíveis no mercado com acionamento pneumático e hidráulico.

Os módulos possuem as características que eram necessárias para atender às exigências técnicas do produto, garantia de repetitividade, força de fixação e rigidez na usinagem. Na figura 7 tem-se o detalhamento do módulo.



Figura 7: Módulo e pino de troca rápida
Fonte: SCHUNK, (2016)

Os módulos e pinos são distribuídos nos dispositivos de forma simétrica, a quantidade é calculada com base no peso do componente usinado e nas forças de usinagem, cada módulo possui força de fixação de 75kN, sendo que seu travamento é realizado por um sistema de molas e cunhas, sendo que sua abertura é pneumática.

Dispositivo para usinagem do HUB

Com esta solução encontrada estudou-se como seria possível realizar estas usinagens com a quantidade mínima de dispositivos, minimizando o tempo de preparação do componente. Assim, decidiu-se desenvolver uma base padrão contendo os módulos distribuídos sobre a mesma, com esta base fixa sobre a mesa da máquina, tinha-se as referências necessárias para

desenvolver os dispositivos para cada uma das nove faces do Hub, detalhadas na figura 8 em destaque.

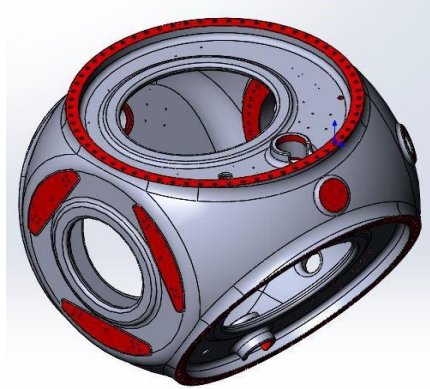


Figura 8: Regiões usinadas destacadas em vermelho, HUB
Fonte: Autoria própria.

A usinagem do Hub foi subdividida em várias etapas, conseqüentemente diversos *setups* eram realizados, na primeira usinagem o componente era fixado diretamente sobre a mesa da máquina, utilizando diversos calços de apoio e elementos de fixação para garantir sua rigidez, que pode ser observado na figura 9.



Figura 9: Primeira operação
Fonte: Autoria própria.

Esta primeira operação tem função de ser a referência para as demais usinagens das outras oito faces, desta forma foi desenvolvido um dispositivo para fixação nesta região, para ser possível usinar outras três faces, detalhadas na figura 10. Como as faces encontram-se em um mesmo plano, basta o colaborador girar a mesa para usinagem, movimento este realizado pela mesa giratória da máquina.

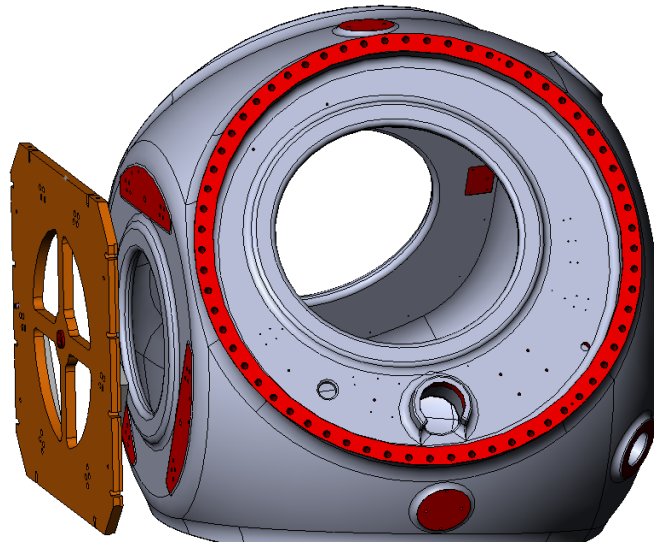


Figura 10: Segunda operação
Fonte: Autoria própria.

A outra operação consta na usinagem de outras três faces denominadas faces de fixação das pás do aerogerador, seu projeto prevê uma inclinação de $3,5^\circ$ em relação a face da primeira operação. Foi encontrado nesta usinagem um dos principais problemas nesta etapa, como inclinar a peça.

Desta forma, o grupo desenvolveu uma base com a inclinação solicitada, o mesmo ainda foi projetado com o sistema de módulos de troca rápida conforme figura 11, a fim de tornar o *setup* de cada uma das três faces mais rápido, pois as mesmas não estão em um mesmo plano, assim se faz necessário suspender o componente e girar com auxílio da ponte rolante toda vez que usinar a próxima pá.

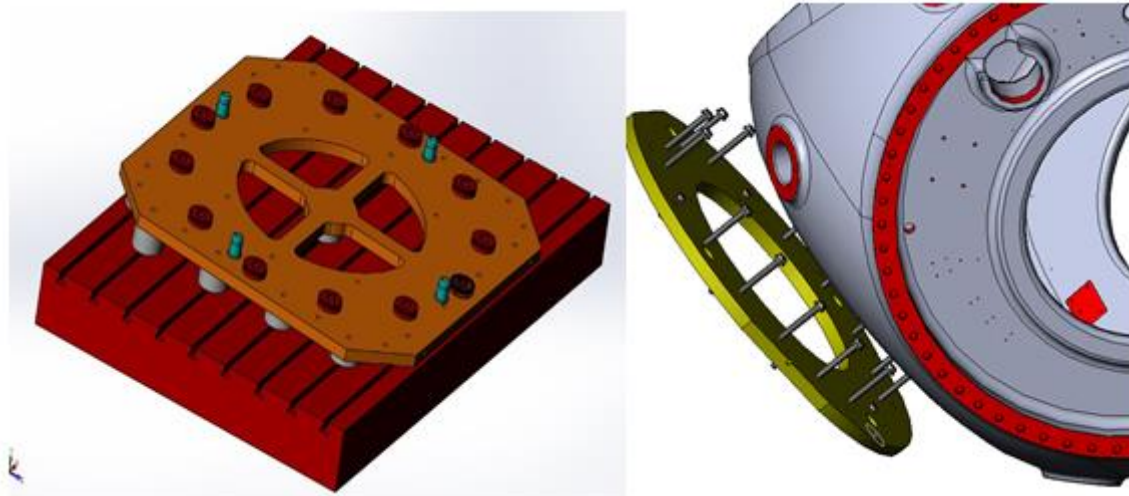


Figura 11: Terceira operação, mesa com módulos de troca rápida
Fonte: Autoria própria.

Com todo o processo definido, a máquina dedicada para usinagem deste componente, ainda não havia capacidade de atender a produção anteriormente estabelecida. O grupo decidiu realizar uma filmagem e avaliar onde estavam as maiores perdas, então encontrou uma nova oportunidade.

A mesa inclinada com os módulos de troca rápida trouxeram a ideia de desenvolver o primeiro dispositivo para *setup* externo, assim foi desenvolvida uma base com os elementos de fixação necessários e na face inferior os pinos de fixação, conforme detalha a figura 12. Sendo assim forma o operador poderia preparar o componente enquanto outro Hub estivesse sendo usinado, desta forma, reduziu-se o tempo da máquina parada para preparação de sessenta e cinco minutos para cinco minutos.

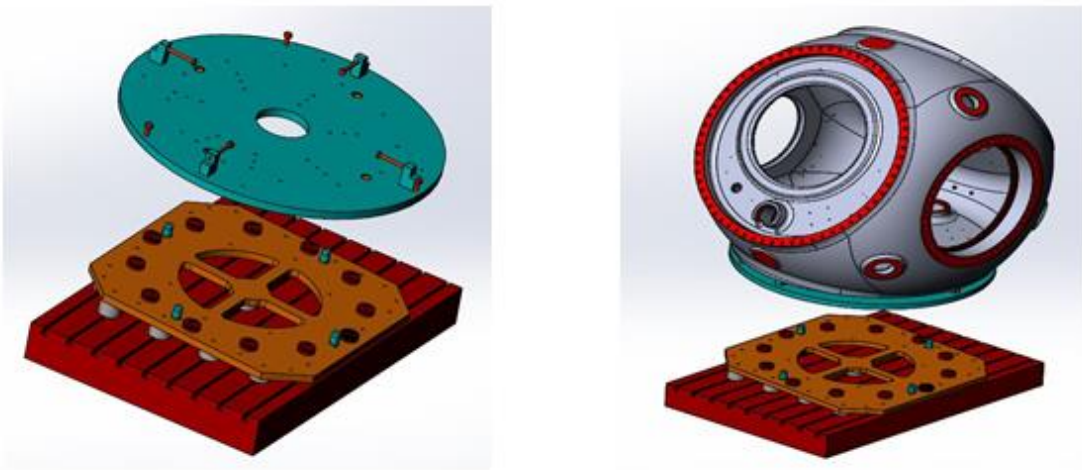


Figura 12: Primeira operação, setup externo
Fonte: Autoria própria.

Outro desperdício encontrado foi na preparação da fresa de diâmetro de 600mm, destinada a realizar a usinagem reversa da face de fixação com a carcaça. Como esta fresa era muito pesada, o magazine de ferramentas da máquina não suportava a capacidade, assim era armazenada em um cavalete que necessitava da ponte rolante para realizar o *setup*.

Com este propósito desenvolveu-se um dispositivo com origens e referências conhecidas, a fim de acondicionar a fresa juntamente ao cabeçote angular da máquina, ainda foi elaborado um programa CNC para coleta e devolução da fresa, sem haver a intervenção do operador e eliminando os riscos de acidentes. A figura 13 detalha o antes e depois da operação. Desta forma eliminou-se o tempo de espera da ponte rolante e minimizamos o tempo de troca em cinquenta e oito minutos.



Figura 13: Antes e depois
Fonte: Autoria própria.

A terceira oportunidade encontrada foi na realização da usinagem da terceira operação, sendo identificada outra grande perda que era para suspender e movimentar o Hub, para realizar estes movimentos a máquina ficava parada no total de 2,25 horas, e com a ponte rolante em uso outras máquinas coincidentemente paravam por necessitar da mesma, porém esta é a usinagem mais complexa onde a face da pá necessita da angulação de $3,5^\circ$.

Passou-se a buscar algo existente no mercado, encontrou-se um sistema de mesa que inclina no grau solicitado, porém com o custo muito elevado. Decidiu-se então projetar uma mesa com sistema de um plano inclinado único de $3,5^\circ$ acionado por um mecanismo hidráulico, ou seja, 0° ou $3,5^\circ$, ilustrado na figura 14.

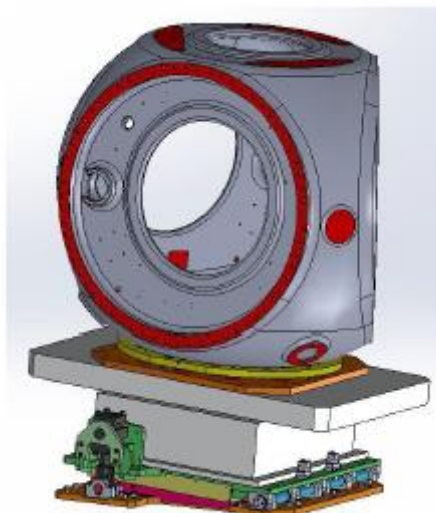


Figura 14: Terceira operação, mesa inclinada hidráulica
Fonte: Autoria própria.

Assim, passou-se a utilizar os demais dispositivos de troca rápida sobre a mesa inclinada, disponibilizando a ponte rolante para as outras máquinas, minimizando o tempo de espera pela mesma.

Dispositivo de *setup* rápido do chassi e cubo

Com as melhorias no *setup* do Hub o equipamento ficou com uma disponibilidade maior para realizar outras atividades, de frente esta oportunidade, decidiu-se aumentar a carga da máquina com outros componentes do aerogerador. Avaliou-se os demais componentes e encontraram-se grandes chances de ganhos em *setup* produzindo o Chassi e o Cubo nesta máquina.

O Chassi tem como última operação de usinagem, fresamento e furações nas faces laterais. São usinagens simples e rápidas, para isso utilizava-se qualquer mandrilhadora disponível. Porém, o *setup* deste componente é elevado por ser apoiado em toda face inferior, utilizando mais de quatorze calços, presilhas e outros elementos de fixação para mantê-lo rígido o suficiente, observado na figura 15.

A movimentação do componente era realizada com o auxílio da ponte rolante, como procedimento de segurança os componentes na usinagem não podem ser soltos da ponte sobre os calços antes que os mesmos estejam fixos com as presilhas, o que eleva ainda mais o tempo de *setup*. Além disso, após posicionado e fixado sobre a mesa, o operador tinha necessidade de encontrar as referências das quatro laterais, para todo e qualquer chassi que fosse iniciado a usinagem.



Figura 15: Preparação do chassi sobre calços
Fonte: Autoria própria.

Foi desenvolvido um dispositivo de *setup* externo, este dispositivo possui todas as referências necessárias para a usinagem do chassi, a primeira vez que encontrado as suas origens, não será mais necessário a conferência. O dispositivo possui pinos pré-localizadores e

foram utilizados pinos de troca rápida, permitindo a utilização da mesa de *setup* rápido, já utilizada na usinagem do HUB.

Para aumentar a rigidez entre os componentes, inverteu-se o processo, ou seja, a posição do chassi foi invertida "de cabeça para baixo", conseguindo mantê-lo mais próximo da mesa. A figura 16 ilustra a base criada e a preparação invertida na máquina. Com isso também foi possível otimizar os parâmetros de corte, ganhando em tempo de usinagem.

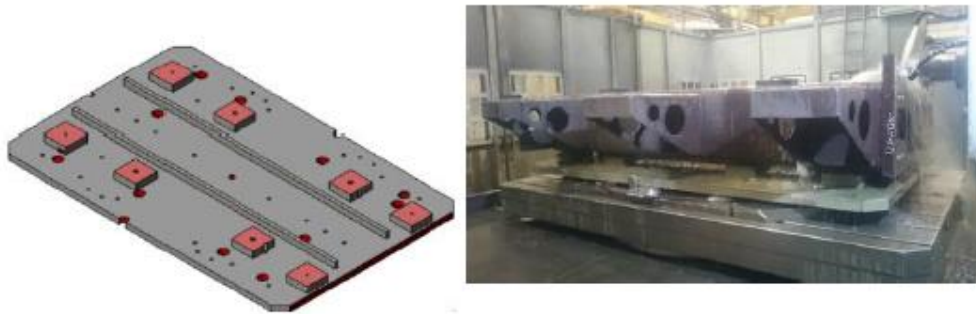


Figura 16: Base de preparação Externa
Fonte: Autoria própria.

Este trabalho proporcionou um ganho de cinquenta minutos por Chassi eliminando os tempos de preparar calços, fixar, fazer pontos zero e retirar calços, tornando a usinagem mais barata.

Assim como o Chassi, o Cubo também possui como última operação o fresamento e furações radiais, processo rápido. O Cubo era preparado sobre a mesa utilizando calços pesados que exigiam o auxílio da ponte rolante para movimentação, além disso havia a necessidade de remoção da mesa de *setup* rápido. A figura 17 apresenta a preparação sobre calços diretamente na mesa da máquina.

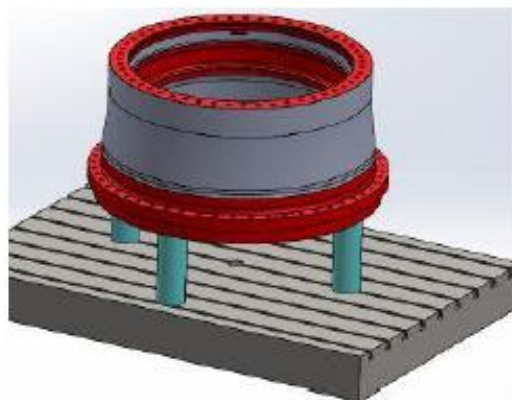


Figura 17: Preparação do cubo sobre calços
Fonte: Autoria própria.

Foi desenvolvido um dispositivo de preparação externa que permite a fixação do cubo sobre o mesmo, ainda fora da máquina. O dispositivo possui todas as referências necessárias para o operador. No apoio central ele possui um pino pré-localizador, facilitando o encaixe sobre a mesa e nos demais apoios, pinos de *setup* rápido, destacado na figura 18. Desta forma é possível utilizar a mesa de *setup* rápido, não havendo mais a necessidade de remoção da mesma.



Figura 18: Dispositivo de preparação externa do cubo
Fonte: Autoria própria.

Com mais este trabalho implantado, os resultados começaram a ser surpreendentes, tanto em aumento de produtividade quanto em segurança, disponibilizou-se a máquina por mais oitenta e cinco minutos por cubo usinado e minimizou-se a utilização da ponte rolante.

4.3.2 Mandrilhadora Mitsubishi

A carcaça do estator e a roda polar são os principais componentes usinados neste equipamento, diante da avaliação das filmagens encontrou-se uma grande oportunidade de melhoria e um ponto de grande dificuldade para os operadores.

Para usinagem da carcaça se faz necessário realizar a troca de três cabeçotes angular (dispositivo para inverter o sentido de transmissão da máquina), sendo que na roda polar são necessárias duas trocas de cabeçotes, obrigatoriamente tem-se que coletar e devolver. Desta maneira são seis e quatro trocas respectivamente. A figura 19 e 20 demonstra os cabeçotes utilizados para a usinagem de carcaça e roda polar.

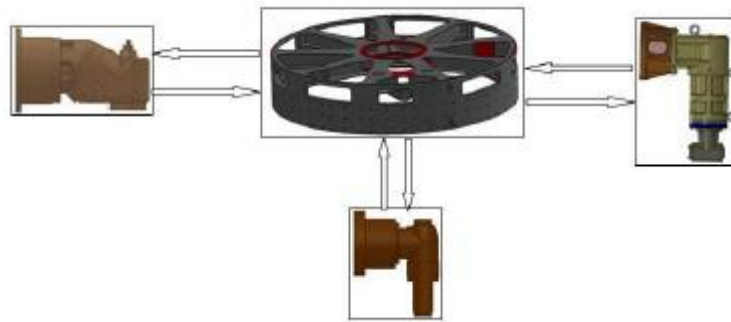


Figura 19: Cabeçotes para usinagem da carcaça
Fonte: Autoria própria.

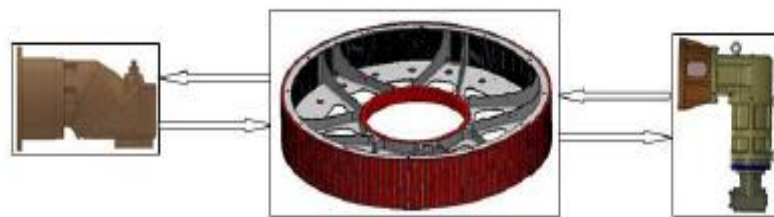


Figura 20: Cabeçotes para usinagem da roda polar
Fonte: Autoria própria.

Os cabeçotes eram armazenados em cavaletes, demonstrado na figura 21, de difícil remoção devido sua geometria e peso, ficavam expostos à projeção de cavaco usinado e fluido de corte, sendo necessário antes do uso sempre limpá-lo.



Figura 21: Armazenamento
Fonte: Autoria própria.

A troca era realizada manualmente, sendo que o operador da máquina necessitava do auxílio da ponte rolante para movimentação do cabeçote. Como a máquina está alocada junto a outras máquinas em um único *shed* era comum encontrar o operador parado aguardando a ponte rolante por ela estar ocupada em outra movimentação. A figura 22 mostra a localização da máquina.

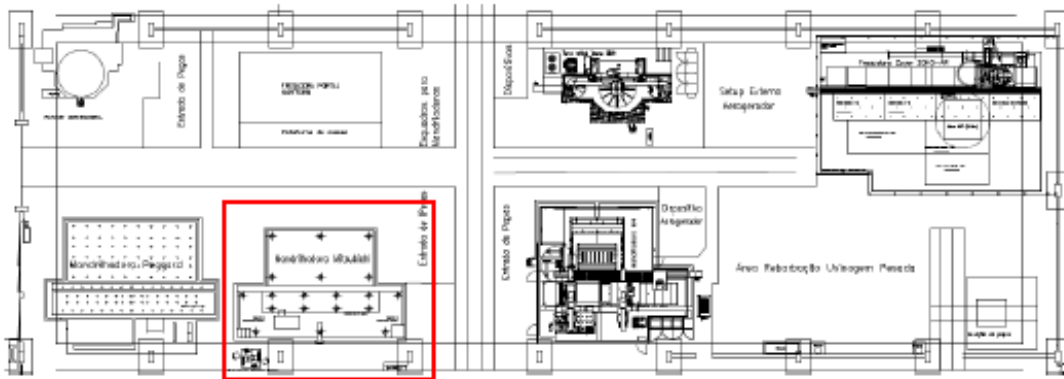


Figura 22: Layout das máquinas
Fonte: Autoria própria.

Em seguida, era posicionado o cabeçote em frente a máquina e fixado junto ao *spindle* (eixo de transmissão de rotação da ferramenta) utilizando uma chave com prolongador para facilitar o aperto, grande risco ergonômico e risco de acidente, detalhado na figura 23. Por fim, era necessário realizar o alinhamento do cabeçote com auxílio de relógio comparador e alavancas. Após realizar as operações necessárias era preciso devolver o cabeçote no dispositivo de armazenamento.



Figura 23: Setup manual do cabeçote
Fonte: Autoria própria.

Estas operações somavam um tempo de cinquenta e seis minutos por troca de cabeçote, ou seja, a cada carcaça usinada utilizava-se cento e sessenta e oito minutos e cento e doze minutos na roda polar para *setup* dos cabeçotes.

Após alguns estudos o grupo decidiu investir em uma estação de trabalho de troca dos cabeçotes angular, com sistema de fixação utilizando os módulos pneumáticos de troca rápida, denominado *Pick Up Station*, demonstrado na figura 24, com detalhe no sistema.



Figura 24: *Pick Up Station*
Fonte: Autoria própria.

Desenvolveu-se uma estrutura para armazenamento dos cabeçotes, com posicionamentos e origens conhecidas, cada cabeçote possui o seu local específico, os mesmos ficam enclausurados, a fim de protegê-los de sujeira, mantendo a sua integridade.

Cada cabeçote é monitorado por um sensor de presença, desta maneira a máquina sempre terá conhecimento de qual cabeçote está utilizando e qual estação de trabalho está vaga para devolução na sua posição original.

O equipamento ainda conta com uma porta, também monitorada por um sensor, mantendo-se sempre fechada, garantindo que as faces dos cabeçotes e os pinos de troca rápida estejam livres de impurezas para o perfeito acoplamento com os módulos.

O *Software* foi elaborado a fim de realizar as trocas dos cabeçotes independente da sequência em uso ou não, o mesmo ainda contempla a indexação do *spindle* com o acoplamento de transmissão de movimento dos cabeçotes, utilizando a função de parada orientada da máquina, eliminando a atividade do colaborador. Para proteção dos módulos, quando não utilizados nenhum cabeçote, uma proteção deve ser utilizada posicionada pelo operador, conservando os módulos limpos para quando necessário efetuar uma troca de cabeçote.

Algumas condições quanto a deslocamentos foram solicitadas na programação eliminando os riscos de colisões, além desta, foram implantadas outras seguranças como: relés em série de controle dos solenoides das válvulas pneumáticas dos módulos; pressostato para monitoramento da pressão da rede de ar comprimido, entre outros.

Para acoplamento dos cabeçotes no *ram* (nariz da máquina) utilizou-se o sistema de troca rápida pneumático, garantindo maior rigidez e repetitividade na fixação, detalhado na figura 25, eliminando necessidade de aperto manual de parafusos.



Figura 25: Placa com módulos de troca rápida
Fonte: A autoria própria.

Com a implantação do sistema reduziu-se o tempo de troca de cinquenta e seis minutos para seis minutos por cabeçote. Neste estágio outras ações de aumento da produtividade já haviam sido implantadas, sendo assim a carcaça estava sendo usinada em vinte e quatro horas e com a implantação do *Pick up* reduziu-se para vinte e uma hora e trinta minutos o tempo de usinagem do produto, aumentando a disponibilidade do equipamento, ou seja, a cada nove carcaças usinadas, a empresa pode programar uma carcaça AGW a mais.

4.3.3 Torno Vertical Rafamet CNC

Este trabalho iniciou-se com a filmagem e acompanhamento dos técnicos em cada turno de trabalho, registrando cada detalhe para facilitar e enriquecer a posterior avaliação da filmagem pelo grupo. Após a avaliação, foi realizada a separação das operações e analisada a possibilidade de manter, eliminar ou tornar externo a operação. A tabela 1 demonstra a metodologia.


 METODOLOGIA DE ANÁLISE E REDUÇÃO DE TEMPOS					
PRODUTO: Carcaça Aeroerador MÁQUINA: Torno Rafamet CNC EQUIPE: Lucas / Leandro / Samuel			DATA: 14/06/2016		
REGISTRO DOS DADOS					
#	Atividade Descrição	Duração	ANÁLISE		
			ELIMINAR	MANTER	EXTERNO
1	Retirar Cabeçote	00:08:00		00:08:00	
2	Máquina parada troca de turno	00:17:00	00:17:00		
3	Limpeza carcaça com vassoura	00:44:00			00:44:00
4	Pegar ponte e retirar componente (ponte disponível)	00:16:00		00:16:00	
5	Limpeza placa	00:15:00			00:15:00
6	Posicionar/movimentar carcaça	00:10:00		00:10:00	
			12:25:00	36:53:45	1:01:00
				TEMPO	52:32:00
				Eliminar/Externo	29%

Tabela 1: Metodologia de análise e redução de tempos
 Fonte: Autoria própria.

Após realizada esta análise, observou-se um grande ganho eliminando algumas etapas e tornando a preparação interna em externa, reduzindo em 29% o tempo total com a carcaça em cima da máquina, para isso foi necessário elaborar um plano de ação designando as atividades para cada integrante com *know how* no assunto, juntamente com os prazos para conclusões, detalhado na tabela 2.


 PLANO DE AÇÃO - RAFAMET CNC					
REDUÇÃO TEMPO DE USINAGEM CARÇAÇA EÓLICO (entre carcaças)				ATUAL: 52h PROPOSTA: 36h PRAZO: 30/nov	
REFILMAGEM: 03/dez					
#	AÇÃO	RESPONSÁVEL	PRAZO	NOVO PRAZO	STATUS
9	Verificar formação de cavaco fita na furação	Charles	24/abr	-	Concluído
12	Automatizar a troca do cabeçote de fresamento atual	Edinei	24/abr	29/mai	Concluído
21	Disponibilizar dois operadores fixos na máquina nos 3 turnos (01 operador + 01 auxiliar)	Gestores	31/mar	-	Concluído
30	Melhorar a limpeza da placa	Marcos	01/abr	-	Concluído
32	Base de limpeza externa da carcaça	Marcos	24/abr	15/mai	Concluído
38	Melhorar sistema de refrigeração (deixar mais forte e eliminar a falta de água)	Samuel	24/abr	-	Concluído

Tabela 2: Plano de ação
 Fonte: Autoria própria.

Todas ações listadas foram trabalhadas e tiveram grande contribuição para o resultado final, porém três destas ações tiveram maior destaque e maior contribuição na redução total do tempo.

A primeira foi tornar rotina o revezamento de operador durante as paradas que se considerava inevitáveis, como: refeições, ginástica laboral, reuniões, banheiro e outros. Para isso, um segundo colaborador foi treinado em cada turno. Este operador trabalha em outra máquina, mas sempre que houver necessidade e sobre aviso, deverá assumir o Torno Vertical Rafamet CNC como prioridade, eliminando o desperdício com as paradas por estes motivos, a fim de reduzir o tempo de ciclo.

Um segundo problema encontrado foi em relação a troca manual do cabeçote angular de fresamento. Para movimentação do local de armazenamento, que era fora da máquina devido a projeção de cavacos de usinagem e fluido de corte, até apoiá-lo sobre a peça, era utilizado a ponte rolante, muitas vezes não disponível por estar em uso em outras máquinas, apoiando-o sobre a carcaça havia pouca área de contato, grande risco de queda e, conseqüentemente, de acidente. Por fim, o operador necessitava rotacionar a carcaça até alinhar o cabeçote com o torpedo, apenas visualmente necessitando, às vezes, de algumas batidas para completar o alinhamento, sendo assim realizar a indexação. A figura 26 detalha a operação de troca.



Figura 26: Troca manual do cabeçote angular
Fonte: Autoria própria.

O Torno Vertical Rafamet CNC já dispunha de um magazine porta cabeçotes no qual realizam trocas automatizadas, porém todas as posições encontravam-se ocupadas com cabeçotes originais da máquina. O grupo avaliou a frequência de utilização versus componentes atualmente manufaturados nesta máquina, decidindo-se retirar o cabeçote número cinco e armazená-lo no fosso da máquina para futuro uso.

Foi necessário fazer uma alteração no magazine, sendo feita a abertura de uma cavidade, pois todos cabeçotes necessitam ter a mesma altura na base de indexação, além disso uma

estrutura de apoio foi desenvolvida com sistema de *poka-yoke* garantindo o posicionamento do cabeçote angular na retirada ou devolução automática. A figura 27 demonstra o dispositivo confeccionado e adaptado no magazine.

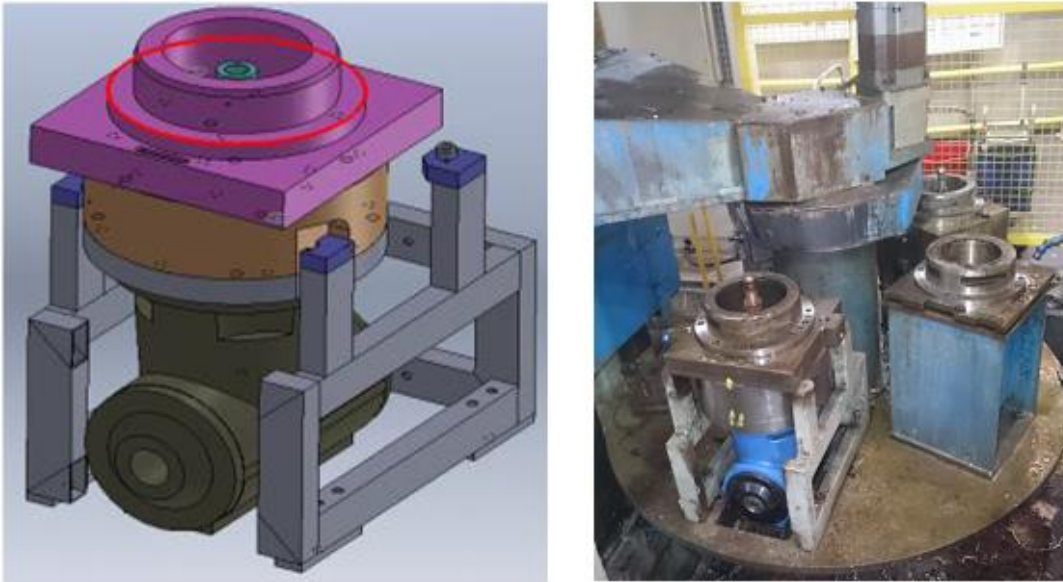


Figura 27: Troca automatizada do cabeçote angular
Fonte: Autoria própria.

Uma grande conquista foi tornar a limpeza do componente de interna para externa. A usinagem da carcaça e da roda polar gera muita remoção de material, este cavaco acumula dentro do componente e no final da sua manufatura o operador necessitava fazer a limpeza do componente ainda na máquina, para não sujar corredores e áreas adjacentes a máquina. A figura 28 demonstra uma parte do cavaco que foi retirado de dentro do componente após a usinagem.



Figura 28: Limpeza da carcaça na máquina
Fonte: Autoria própria.

Para realizar esta limpeza externamente, foi desenvolvida uma base fabricada de chapas de aço soldadas, com uma proteção para que o fluido de corte e o cavaco não se infiltrem no piso da fábrica, evitando a contaminação do subsolo. Assim, ao finalizar a usinagem, o operador retira o componente da máquina e apoia sobre a base, detalhada na figura 29, e em seguida prepara o próximo componente bruto na máquina para usinagem. Com a peça sobre a base, o operador faz a limpeza enquanto a próxima peça está em processo de usinagem.



Figura 29: Limpeza externa da
Fonte: Autoria própria

As ações citadas reduziram o tempo de processo na usinagem da carcaça e da roda polar, aumentando a disponibilidade do equipamento. A seguir a tabela 3 apresenta os ganhos com estas três ações.

Ações	Antes (min)	Depois (min)
Limpeza Externa	44	5
Troca Automática Cabeçote	120	8
Segundo Operador	135	0
Redução no tempo de Processo/peça (horas)	4,8	

Tabela 3: Aumento da disponibilidade do equipamento
Fonte: Autoria própria

4.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Sair da rotina e da comodidade se faz necessário para enfrentar novos desafios e buscar alternativas em metodologias consagradas. Com a vinda da linha de aerogeradores, produto de grande porte e alta complexidade, muitos desafios surgiram, o primeiro deles foi atender a

produção solicitada pela empresa de quatro torres por mês, sendo que os primeiros conjuntos fabricados foram de duas torres por mês.

Desta forma, todos os colaboradores envolvidos neste projeto (operadores, técnicos, analistas, chefes e gerentes) abraçaram a oportunidade e ao longo de três anos passaram a buscar soluções inovadoras com base em metodologias de *Kaizen*, *SMED*, *6 Sigma*, *5'S*, Manutenção Autônoma entre outras ferramentas, a fim de aumentar a cada dia a disponibilidade das máquinas, elevando a produção de componentes com qualidade e nunca deixando de lado a segurança dos colaboradores.

Na tabela 3 foi apresentado os tempos de usinagem no início da produção dos aerogeradores, assim como a utilização de cada centro de trabalho. A seguir, no quadro 6, são apresentados os tempos atuais de usinagem de cada componente, após implementadas diversas ações de melhorias, bem como as citadas neste trabalho. Também é informado o percentual de redução nos tempos em relação aos tempos iniciais da produção da linha de aerogeradores.

Centros de Trabalho (Operações de Usinagem)	Componentes Aerogerador						
	Carcaça Principal	Carcaça Estator	Roda Polar	Hub	Chassi	Cubo	Eixo
Torno V. Rafamet CNC (hs/pç)		38	39				
% de redução dos Tempos		71%	49%				
Torno V. Taurus CNC (hs/pç)							33,3
% de redução dos Tempos							53%
Torno V. Youji CNC (hs/pç)						21	
% de redução dos Tempos						70%	
Fresadora Zayer (hs/pç)	35						
% de redução dos Tempos	71%						
Mandrilad. Mitsubishi (hs/pç)		21,5					
% de redução dos Tempos		86%					
Mandrilad. Taurus M4 (hs/pç)				32,5	4	3	
% de redução dos Tempos				80%	72%	54%	
Fresadora P. Hartford (hs/pç)					8		
% de redução dos Tempos					48%		

Quadro 6: Tempos atuais de usinagem
Fonte: Autoria própria

Com os tempos reduzidos, conseqüentemente o custo de produção na usinagem reduziu significativamente, passando a produzir muito mais com muito menos. A produção atual é de dez conjuntos, ou seja, dez torres por mês. Algumas máquinas já possuem capacidade para quatorze unidades por mês, as outras ainda possuem ações para alavancar ainda mais a produção. Em números gerais reduziu-se o tempo total de fabricação de um conjunto de aerogerador em 72% ao longo destes três anos de produção da linha.

A prática do *SMED* trouxe consigo avanços ainda maiores ao Departamento de Usinagem, hoje, além de pensar em dispositivos que permitam a troca rápida, estes são desenvolvidos a fim de ser intercambiáveis entre as máquinas, mesmo que elas possuam particularidades diferentes, tornando o processo mais flexível. O objetivo não é buscar a perfeição, mas melhorar a cada dia.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados descritos neste estudo foram de suma importância para a empresa, pois com o alcance dos mesmos foi possível diminuir os desperdícios com preparação e consequentemente disponibilizar maior tempo de máquina trabalhando e aumentando a capacidade útil da mesma, atendendo assim futuras demandas, fazendo com que o objetivo fosse atendido.

Conclui-se que o objetivo principal a ser alcançado foi atingido, pois com ações realizadas através da aplicação da ferramenta SMED em algumas máquinas foi possível reduzir o tempo de preparação dos componentes do aerogerador. As reduções se deram em tempos em que as máquinas eram improdutivas, que com implantação de dispositivos de troca rápida obteve-se ganhos significativos, a ponto de como consequência, aumentar a disponibilidade da máquina.

A análise do processo iniciou-se na filmagem e observações *in loco* nas máquinas a serem trabalhadas. No momento das filmagens tomou-se notas de alguns problemas identificados, contribuindo e enriquecendo o material. O grupo reunido iniciou o estudo das filmagens identificando possíveis desperdícios conforme metodologia SMED.

As ações de melhoria foram listadas e apresentadas ao grupo, sendo assim foram levantados custos e viabilidades de implantação. Os projetos foram realizados por facilitadores da seção e por mão de obra externa, para que houvesse maior agilidade na elaboração e fabricação dos dispositivos. Os operadores das máquinas listaram muitas sugestões que auxiliaram nos projetos, o que foi de suma importância para que a ferramenta fosse desenvolvida.

A aplicação das melhorias se deu em diferentes etapas, cada dispositivo teve seu tempo de fabricação e também necessitava de acompanhamento de um membro do grupo e operador, pois em alguns momentos houve ajustes a serem realizados. Pode-se comentar que é a etapa mais difícil, visto a complexidade dos dispositivos e mudanças nos processos de usinagem.

Lista-se como dificuldades encontradas, muitas vezes, a resistência de operadores em discutirem ideias novas, limitações de investimentos devido à crise financeira do país, grande prazo para implantar ideias, por se tratar de problemas complexos.

Os assuntos aprendidos e discutidos em sala de aula durante o curso foram de grande valia, pois foi possível colocar em prática os conhecimentos passados pelos professores e colegas mais experientes. Neste trabalho não foram consideradas ferramentas como 5S, pois já está difundido na unidade de negócio o programa.

Recomenda-se para trabalhos futuros novas filmagens e análises, pois a evolução deve acontecer sempre. Não se pode apenas realizar um *Kaizen*/SMED, pois sempre haverá mudanças e aperfeiçoamentos a serem mapeados e realizados.

REFERÊNCIAS

ANDERE, G. **Implantação de técnicas de redução do tempo de setup e de sustentabilidade das melhorias obtidas:** um caso de aplicação. 2012. Monografia (Engenharia de Produção Mecânica) – Universidade de São Paulo. São Carlos-SP.

BARTOLI, I. **Manufatura Enxuta voltado para indústrias siderúrgicas que utilizam sistemas de produção sob encomenda** – um estudo de caso de uma empresa siderúrgica nacional. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia da Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá-SP.

BEZERRA, T. L. **Aplicação da metodologia de eventos kaizen para aumento de produtividade de uma célula:** estudo de caso em uma metal mecânica. 2015. Monografia (Engenharia de Produção) – Universidade Estadual de Maringá. Maringá-PR.

BHASIN, S. **Lean management beyond manufacturing:** a holistic approach. Springer, 2015.

CORRÊA, H. L.; CORRÊA, C. A. **Administração de produção e operações manufatura e serviços:** uma abordagem estratégica. 2. ed. São Paulo, SP: Atlas, 2006.

HENRY, J. R. **Achieving lean changeover.** Putting smed to work. New York, NW: CRC PRESS, 2013.

HISTÓRIA DA WEG. **WEG S.A.** 2016. Disponível em: <http://www.weg.net/br/Sobre-a-WEG/Historia/Os-Fundadores>> Acesso em: 02 dez. 2016.

MONTEIRO, A.; MACHADO, R. H. **Aplicação da troca rápida de ferramenta:** Uma proposta de redução de setup em uma fábrica de molas. In: Encontro Fluminense de Engenharia de Produção, 2011, Rio de Janeiro. Anais da Sociedade Fluminense de Engenharia de Produção. Rio de Janeiro.

OHNO, T. **O sistema Toyota de produção:** além da produção de larga escala. Bookmann, 1997.

PARIS, W. S.; GUOLO, A. **Gestão da produção.** 1 ed. Curitiba, PR: Universidade Positivo, 2015. v.1. 206p

RODRIGUES, M. V. **Entendendo, aprendendo e desenvolvendo sistemas de produção lean manufacturing.** Rio de Janeiro, RJ: Elsevier, 2014.4

ROSER, C. **Faster, bether, cheaper in the history of manufacturing**: from de stone age to lean manufacturing and beyond. New York, NW: CRC Press, 2016.

SCHUNK. **Superior clamping and gripping**. 2016. Disponível em: http://us.schunk.com/us_en/homepage/vero-s/. Acesso em 02 dez. 2016.

SHINGO, S. **Sistema de troca rápida de ferramentas**: uma revolução nos sistemas produtivos. 1 ed. Porto Alegre, RS: Bookman, 2000.

TRIVINOS, A. N. S. **Introdução a pesquisa em ciências sociais**: a pesquisa qualitativa em educação. São Paulo, SP: Atlas, 1987.

WANG, J. X. **Lean manufacturing**: business botton-line based. New York, NW: CRC Press, 2011.

WLSON, L. **How to implement lean manufacturing**. USA: McGraw Hill Companies, 2010.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **Lean thinking**: banish waste and create wealth in your corporation. New York, NW: Free Press, 1996.

ZANDIN, K. B. **Maynard's industrial engineering handbook**. 5. ed. New York: McGraw-Hill, 2001.