

ANÁLISE DO PROCESSO PRODUTIVO E O IMPACTO DA FALTA DE MANUTENÇÕES PREVENTIVAS EM UMA INDUSTRIA DE FILTROS AUTOMOTIVOS – CURSOS DE ENGENHARIAS – UNISOCIESC/ CAMPUS JOINVILLE

KNISS, Marcelo ¹
ANDRADE, Solange Alves Costa ²
FILHO, Carlos Roberto da Silva ³

RESUMO

O uso racional da energia pela indústria é uma alavanca fundamental para garantir o desenvolvimento industrial sustentável. Muitas vezes para obter a eficiência energética precisa-se analisar, otimizar processos e equipamentos, assim reduzindo o consumo de energia e os desperdícios na produção de bens e prestação de serviços, sem comprometer a sua qualidade. Porém muitas vezes em busca do melhor aproveitamento energético, empresas deixam de se preocupar com as manutenções preventivas de seus equipamentos ou até mesmo na melhoria do processo produtivo. Este artigo tem como objetivo avaliar formas de reduzir os custos através da melhoria do processo produtivo do setor de moldagem por injeção e implementar um plano de manutenção preventiva nas máquinas em estudo, utilizando como base do artigo uma análise sobre a eficiência energética dos motores das Injetoras na empresa de filtros automotivos em questão.

Palavras-chave: Eficiência energética, Manutenção Preventiva, Motores elétricos, Redução de desperdícios.

ABSTRACT

The rational use of energy by industry is a fundamental lever to ensure sustainable industrial development. To obtain energy efficiency, we often need to analyze, optimize processes and equipment, thus reducing energy consumption and waste in the production of goods and provision of services, without compromising their quality. However, often in search of better energy use, many companies stop worrying about preventive maintenance of their equipment or even improving the production process. This article aims to evaluate ways to reduce costs by improving the production process in the injection molding sector and to implement a preventive maintenance plan for the machines under study, using as the basis of the article an analysis of the energy efficiency of injection molding engines in the automotive filter company under study.

Keywords: Energy efficiency, Preventive Maintenance, Electric motors, Waste reduction.

¹Graduando do Curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário UNISOCIESC, marcelo.kniss@outlook.com;

²Professora orientador: Mestra, Centro Universitário UNISOCIESC, solange@unisociesc.com.br;

³Professor coorientador: Mestre, Centro Universitário UNISOCIESC, carlos.silva@unisociesc.com.br;

1. INTRODUÇÃO

Por meio do uso racional de eletricidade, a confiabilidade de nosso sistema de energia pode ser melhorada, reduzindo assim a necessidade de investimento em reforços em sistemas de geração, transmissão e distribuição de energia, reduzindo o custo para o distribuidor final e maximizando o uso dos sistemas elétricos existentes, e reduzir o impacto ambiental associado à construção de novos empreendimentos a serem implantados, como a construção de novas usinas termelétricas ou hidrelétricas.

Hoje a indústria é responsável por pelo menos 35% do consumo de energia gerada no Brasil, com aproximadamente 573 mil unidades consumidoras industriais, das quais 50% do consumo da empresa é gerado por motores elétricos. (CNI, 2019). Para suprir esse consumo de energia, diversas empresas investem em pesquisa e desenvolvimento de motores mais eficientes, conhecidos como motores de alto rendimento, mas por utilizarem materiais de melhor qualidade, o seu o valor final é aproximadamente 30% a mais que os motores standart.

Porém nessa busca incansável pela eficiencia energética, muitas empresas negligenciam a importância da manutenção preventiva em seus equipamentos, ocasionando vários gastos desnecessários e indisponibilidades não programadas. Além da manutenção preventiva, outro fator que muitas vezes passa despercebido, é a melhoria nos processos produtivos, pois estes, muitas vezes estão ligados diretamente a gastos gerados por uma ineficiencia energética. Neste trabalho, será estudado, tendo como base a eficiência energética, o processo produtivo e o impacto da falta de planejamento de manutenções preventivas nas máquinas de Injeção utilizadas no processo de fabricação de moldes plásticos em uma Indústria Automotiva. Tendo como os seguintes objetivos específicos:

- a) Levantar o consumo energético;
- b) Diagnosticar os motores utilizados no centro de Injeção;
- c) Calcular o consumo dos motores em estudo;
- d) Apresentar uma proposta de melhoria no processo das máquinas de Injeção;
- e) Calcular o retorno dos investimentos;
- f) Desenvolver um plano de manutenção para as máquinas em estudo;

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 USO CONSCIENTE DA ENERGIA ELÉTRICA

No que tange ao consumo de insumos naturais, o setor industrial é um dos maiores consumidores energéticos e com grandes potencialidades de provocar danos ao meio ambiente, seja por meio do processo produtivo ou pela fabricação de produtos poluentes, cuja destinação final é inadequada. Segundo a EPE (2019), em 2018 a classe industrial foi responsável por 31,7% do consumo de energia no Brasil.

Apesar do crescente impacto ambiental, as indústrias começaram a se preocupar com ações de desenvolvimento sustentável e eficiência energética, principalmente após o aumento das tarifas de energia elétrica e períodos de escassez de água (TONIM, 2009).

2.1.2 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

A eficiência energética é amplamente aceita como uma das estratégias utilizadas atualmente para reduzir o consumo de energia e as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE). Para promover a eficiência energética é necessário desenvolver políticas ambientais que fomentem tecnologias inovadoras (IEEE 2021).

Eficiência energética pode ser inserida desde o processo de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, mas tende a gerar maiores resultados quando aplicada no consumidor final (BAJAY, 2019).

2.2 MOTORES ELÉTRICOS

Na indústria, existem vários tipos de motores elétricos empregados, porém, o tipo de motor mais utilizado, é o motor elétrico assíncrono de indução trifásico. Isso se deve principalmente, à simplicidade de construção, longa vida útil e ao baixo custo de aquisição e manutenção (PETRUZELLA, 2013).

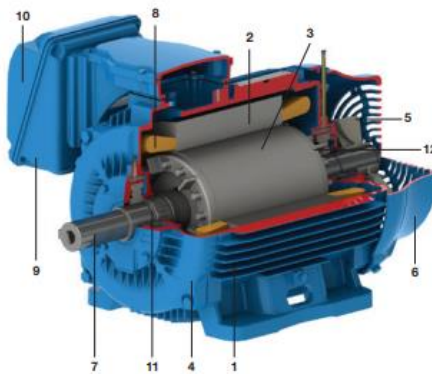
2.2.1 MOTORES ELÉTRICOS DE INDUÇÃO TRIFÁSICOS

Em geral são constituídos de duas partes básicas: Estator e Rotor. O Estator, formado por três elementos: Carcaça, Núcleo de chapas magnéticas e Enrolamento,

e o Rotor, também formado por três elementos: Eixo, Núcleo de chapas magnéticas e Barras e anéis de curto circuito (MEURER, 2005).

Além do Estator e Rotor, MEURER (2005) também cita que os motores são constituídos de demais componentes como: Ventoinha, Mancais, Terminais de ligações, e outros que podem ser observados na Figura 1.

Figura 1 - Partes constituintes de um motor de indução trifásico



Fonte: Catálogo WEG (2021)

2.5.1 RENDIMENTO

A potência de entrada (P_{EL}), em (W) é convertida em potência mecânica de saída (P_m), em cavalo-vapor (cv ou hp) sendo 1 cv equivalente a 736 W. Devido o sistema não ser ideal, há perdas por diversos fatores (P_d). Obtém-se a P_{EL} pela equação (CHABU, 2002):

$$P_{EL} = P_M + P_d \text{ [W]} \quad (1)$$

Onde:

P_{EL} = potência de entrada [W]

P_d = diversos fatores [W]

P_m = potência mecânica de saída [W]

Sua potência nominal é dada pela potência útil entregue na ponta de seu eixo quando alimentado por uma tensão e frequência nominal. O rendimento (η) é determinado pela relação entre a potência de saída no eixo e a potência de entrada, conforme equação (CHABU, 2002):

$$\eta = PM / PEL \times 100 [\%] \quad (2)$$

Onde:

η = Rendimento [%]

PM = Potência de saída no eixo [W]

PEL = Potência de entrada [W]

2.7 PARTIDA DE MOTORES ELÉTRICOS DE INDUÇÃO

De acordo com Mamede (2007) os motores elétricos, durante a partida, solicitam da rede de alimentação uma corrente na ordem de 6 a 10 vezes a sua corrente nominal. Nesse momento, todo o circuito envolvido sofre uma queda de tensão, que dependendo de sua amplitude, pode provocar sérios distúrbios operacionais aos equipamentos.

2.7.1 PARTIDA DIRETA

A partida direta é o modelo de partida mais simples que existe, e deve ser utilizado sempre que possível, atendendo as especificações e as Normas vigentes (FILHO, 2005).

2.7.2 PARTIDA ESTRELA-TRIÂNGULO

O modelo de partida estrela-triângulo é amplamente utilizado na indústria para partida de motores com conjugados de partida baixos, ou em aplicações em que o motor parte a vazio (BECKER, 2008).

2.8 CUSTO DE ENERGIA DE UM MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO

De acordo com a WEG (2019), para calcular o consumo de um motor elétrico trifásico, em um determinado período, primeiramente deve-se conhecer o consumo que esse motor terá em uma hora. Esse valor é dado em kWh/h (quilowatt-hora por hora) e é calculado conforme a equação 7:

$$\text{Consumo do motor} \left(\frac{\text{kWh}}{\text{h}} \right) = \frac{\text{Potência do motor (cv)} \times 0,736}{\text{Rendimento (\%)} \text{ do motor}} \quad (7)$$

A WEG (2019) ainda afirma que, caso não se conheça o valor de rendimento do motor trifásico, uma segunda equação pode ser utilizada, conforme demonstrado na equação 8:

$$\text{Consumo do motor} \left(\frac{\text{kWh}}{\text{h}} \right) = \frac{\sqrt{3} \times \text{Tensão (V)} \times \text{Corrente (A)} \times \text{Fator de Potência}}{1000} \quad (8)$$

Por fim, para calcular o consumo do motor em um mês de operação, por exemplo, basta multiplicar o consumo calculado para uma hora de operação pelo número de horas que o motor opera em um mês, e assim sucessivamente pelo período em que se deseja saber o consumo (WEG, 2019).

2.9 DEMANDA ENERGÉTICA

Para um melhor gerenciamento energético, é importante a compreensão de algumas definições e conceitos para facilitar a análise de uma fatura elétrica (Procel, 2020):

2.9.3 HORÁRIO DE PONTA (P) E HORÁRIO FORA DE PONTA (F)

a) Horário de Ponta (P): Corresponde ao intervalo de 3 horas consecutivas, definido por cada concessionária local, compreendido entre as 17 e 22 horas, de segunda à sexta-feira.

b) Horário fora de ponta (F): corresponde às horas complementares relativas ao horário de ponta, acrescido do total das horas dos sábados e domingos (Eletrobrás, 2014).

2.9.7 DEMANDA

É a média das potências elétricas solicitadas ao sistema elétrico, pela parcela da carga instalada em operação na unidade consumidora, durante um intervalo de tempo especificad (VIEIRA, 2016). Pode se calcular a demanda pela formula 9:

$$D_{med} = \frac{\int_0^T p \cdot DT}{T_2 - T_1} \quad (9)$$

2.9.8 FATOR DE CARGA

Através do fator de carga pode se avaliar se a energia elétrica está sendo bem utilizada. O fator de carga é obtido através da relação entre a demanda média e a demanda máxima de potência e indica o grau de utilização da demanda máxima de potência. O fator de carga pode variar de zero (0) a um (1): quanto mais próximo de 1 indica que as cargas elétricas estão sendo utilizadas de forma racional ao longo do tempo (Fugimoto, 2010).

2.9.11 FATOR DE CARGA PARA TARIFA HORO SAZONAL AZUL

De acordo com Procel (2020) o fator de carga é definido por segmento horo sazonal (ponta e fora de ponta). Pode se calcular o fator de carga na ponta pela equação 10:

$$FC_p = \frac{kWh_p}{kW_p \times HP} \quad (10)$$

Ainda citando Procel (2020) o fator de carga fora de ponta pode ser definido pela equação 11:

$$FCfp = \frac{kWhfp}{kWfp \times HFP} \quad (11)$$

2.10 INJETORAS PLÁSTICAS – FUNCIONALIDADE

O processo de injeção teve seu início de fabricação de máquinas nas décadas de 30 e 40, com máquinas do tipo pistão com capacidade aproximada de 200 gramas de moldagem (BATTENFELD, 2008). Ao longo do tempo, a máquina injetora passou por evoluções sendo a criação da máquina hidráulica em 1947, a máquina de parafuso alternativo em 1951 e a máquina elétrica em 1988.

Inicialmente desenvolvido para a transformação de resinas termoendurecíveis, hoje chamada de termo fixo como uréiaformaldeído (comercialmente conhecido como Baquelite), o processo teve um enorme desenvolvimento com o advento dos materiais termoplásticos que se verificou após a Segunda Guerra Mundial (HARADA, 2004).

O desenvolvimento de máquinas injetoras se manteve e com a chegada dos materiais termoplásticos, houve uma acelerada evolução, devido à enorme gama de produtos que podiam ser fabricados à partir desse processo, principalmente por substituir a madeira e o vidro. A moldagem por injeção é um processo no qual um cilindro aquecido munido de uma rosca é alimentado por meio de um funil com material plástico em forma sólida (grânulos), que ao aquecer converte-se em um material fundido homogêneo (BATTENFELD, 2008).

Esse material é então pressionado pelo avanço da rosca para dentro do molde, assumindo a sua forma. Após resfriamento retorna ao estado sólido possibilitando sua extração com a abertura do molde. Esse último pode ser fechado e se inicia o ciclo novamente (HARADA, 2004).

3 DESENVOLVIMENTO

O presente capítulo descreve uma avaliação feita no setor de injeção em uma indústria Automotiva (Figura 2). Serão abordados métodos de análise para a melhoria da produtividade das máquinas em estudo, assim como a observação do impacto da falta de manutenções corretivas nos equipamentos, tendo como base do desenvolvimento, a aplicação de conhecimentos sobre a eficiência energética.

Figura 2 – Departamento de Injeção da Indústria automotiva em estudo

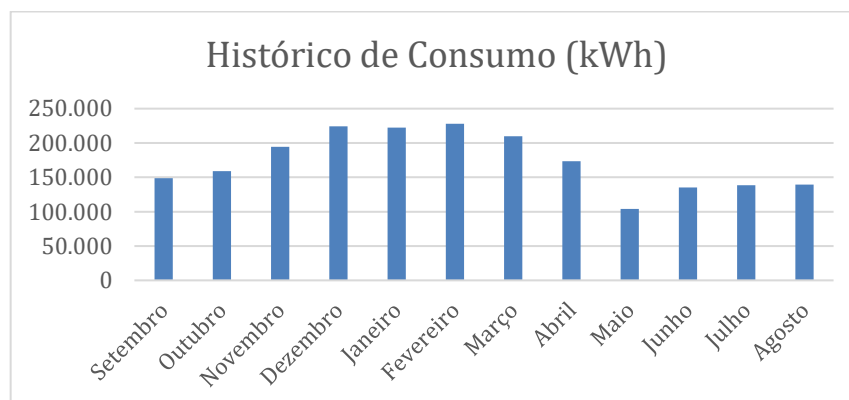


Fonte: O autor (2020)

3.1 LEVANTAMENTO DO CONSUMO ENERGÉTICO

Para uma análise mais assertiva do consumo energético, foi analisado as faturas de energia elétrica da empresa entre os meses de Setembro de 2019 e Agosto de 2020. Com base na figura abaixo (Figura 3), é possível perceber que existe um aumento do consumo de energia elétrica nos períodos mais quentes do ano, esse aumento na demanda de energia ocorre justamente quando o sistema de climatização é mais utilizado devido a necessidade de manter a umidade da matéria prima em níveis padrões.

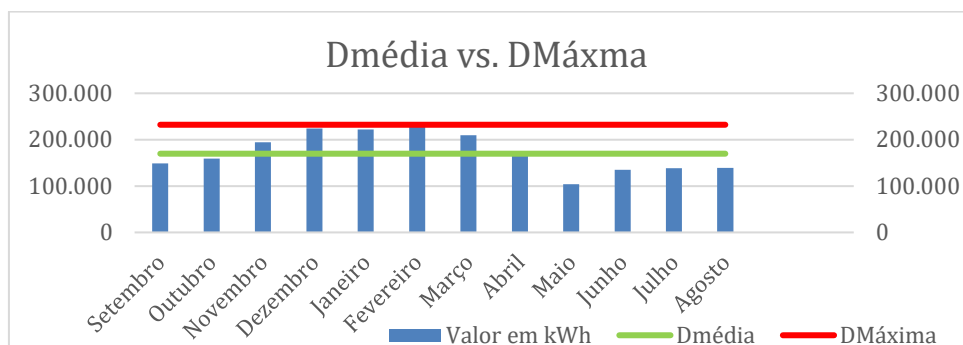
Figura 3 – Histórico de consumo energético



Fonte: O autor (2020)

Na figura abaixo (Figura 4), pode se perceber a demanda média e máxima dentro do mesmo período da indústria de filtros automotivos.

Figura 4 – Análise da demanda média e máxima em kWh dos últimos 12 meses



Fonte: O autor (2020)

Um fator de demanda muito baixo leva ao subdimensionamento do circuito que alimenta o ponto de distribuição em questão. Assim como a adoção de fatores de demanda muito elevados leva ao seu superdimensionamento.

A empresa em questão está enquadrada na tarifa horo sazonal azul, o fator de carga é definido pelo segmento horo sazonal (ponta e fora de ponta). Na tabela abaixo (Tabela 1), foi analisado o fator de carga dos últimos 12 meses levando em consideração o fator de ponta e fora de ponta de uma tarifa do Grupo A4.

Tabela 1 – Análise do Fator de Carga dos últimos 12 meses

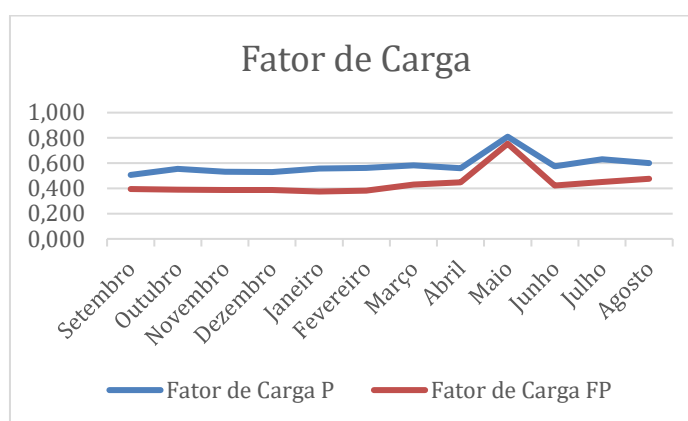
Mês	Demanda máxima (kW)		Consumo (kWh)		Fator de Carga	
	P	FP	P	FP	P	FP
Setembro	679	878	21.671	131.158	0,507	0,395
Outubro	674	823	22.416	132.747	0,554	0,390
Novembro	708	805	22.565	111.933	0,531	0,386
Dezembro	716	784	22.682	114.931	0,528	0,388
Janeiro	682	774	22.780	114.905	0,557	0,375
Fevereiro	678	747	22.916	97.939	0,563	0,383
Março	658	733	23.042	125.152	0,584	0,431
Abril	690	782	23.142	126.086	0,559	0,448
Maio	477	477	23.167	129.430	0,809	0,754

Junho	674	819	23.272	137.219	0,575	0,423
Julho	617	738	23.372	138.003	0,631	0,452
Agosto	653	770	23.483	138.811	0,599	0,477

Fonte: O autor (2020)

Com os resultados obtidos, pode-se buscar a curva do fator de carga mensal na ponta e fora da ponta relacionado aos dados acima (tabela 1). Utilizando o Excel como base, obtemos os valores da Figura 5, abaixo:

Figura 5 – Análise do Fator de Carga de Ponta e Fora de Ponta



Fonte: O autor (2020)

O que está ocasionando os valores baixos de fator de carga é a concentração de cargas de grande porte ligadas simultaneamente e a falta de programação da utilização da energia. No caso em questão, tanto o fator de carga ponta e fora de ponta estão muito distantes do aproveitamento ideal, como pode ser observado na figura acima (Figura 5).

3.2 DIAGNÓSTICO DOS MOTORES UTILIZADOS NO CENTRO DE INJEÇÃO

Para as linhas de produção em estudo, as partidas de todos os motores são em estrela-triângulo. Na indústria em questão, são utilizadas 6 injetoras. Na tabela abaixo (Tabela 2), é possível observar suas características:

Tabela 2 – Descrição das Injetoras a seres estudadas

Injetora	Peso	Marca	Modelo
IMM10	400 ton	battenfeld	HM 400
IMM20	400 ton	battenfeld	HM400
IMM30	200 ton	battenfeld	HM 200
IMM40	200 ton	battenfeld	HM 200
IMM50	200 ton	battenfeld	HM 200
IMM60	200 ton	battenfeld	HM 200

Fonte: O autor (2020)

Na tabela abaixo (Tabela 3), é possível verificar algumas informações relevantes sobre os motores em estudo:

Tabela 3 –Informação dos Motores em estudo

Freqüência	Potência	Injetoras
60 Hz	15 CV	IMM 10 e 20
60 Hz	7,5 CV	IMM 30 a 60

Fonte: O Autor (2020)

O motor de 15 CV para uso das Injetoras de 400 toneladas tem um regime de trabalho de 7560 horas anuais. Já o motor de 7,5 CV usado nas Injetoras de 200 toneladas possui um regime de trabalho anual de 7200 horas.

Devido a ausência de um planejamento com manutenções preventivas e a falta de manutenções corretivas a vida útil dos motores diminuiu drasticamente, como consequência, os motores passaram pelo processo de rebobinação. Tais problemas poderiam ter sido evitados se houvesse um planejamento adequado de manutenção, assunto que será abordado mais a frente.

3.3 CÁLCULO DO CONSUMO DOS MOTORES EM ESTUDO

Para calcular o consumo dos motores em estudo será utilizado como base um mês de operação, multiplicando o consumo calculado para uma hora de operação pelo número de horas que o motor irá operar em um mês. Os resultados encontrados para a IMM20 e IMM20 podem ser encontrados nas Tabelas 4:

Tabela 4 – Consumo Motores Eletricos 15 CV

Injetora	Potência	C (KW) mês
IMM10	15 CV	7527.732
IMM20	15 CV	7527.732

Fonte: O autor (2020)

Considerando a potência do motor de 15 CV e um rendimento de 92,4% (rendimento obtido no catálogo WEG, com o motor operando com 100% de carga):

$$C \text{ (mensal)} = \frac{15 \times 0,736}{92,4\%} \times 100\%$$

$$C = 11,094 \text{ KW}$$

Como o motor opera 630 horas por mês (21h/dia x 30dias/mês), então o consumo de energia mensal será:

$$C \text{ (mensal)} = 11,094 \text{ KW} \times 630 \text{ mês} = 7527.732 \text{ KW mês}$$

Os os resultados de estudo de consumo das IMM30 a IMM60, podem ser conferidos na Tabela 5:

Tabela 5 – Consumo Motores Eletricos 7,5 CV

Injetora	Potência	C (KW) mês
IMM30	7,5 CV	3611.775
IMM40	7,5 CV	3611.775
IMM50	7,5 CV	3611.775
IMM60	7,5 CV	3611.775

Fonte: O autor (2020)

Considerando a potência do motor de 7,5 CV e um rendimento de 91% (rendimento obtido no catálogo WEG, com o motor operando com 100% de carga):

$$C = \frac{7,5 \times 0,736}{91\%} \times 100\%$$

$$C = 6,017 \text{ KW}$$

Os motores de 7,5 CV operam 600 horas por mês (20h/dia x 30 dias/mês), então o consumo de energia mensal será:

$$C (\text{mensal}) = 6,017 \text{ KW} \times 600 \text{ mês} = 3611.775 \text{ KW mês}$$

Como dito anteriormente, existe uma concentração de cargas de grande porte ligadas simultaneamente devido a falta de programação da utilização da energia. Os motores poderiam estar sofrendo aquecimento, o que pode ser um problema pois indicaria que eles não estão aproveitando da melhor forma possível a potência da rede elétrica, e gerando assim gastos com energia elétrica.

3.4 APRESENTAÇÃO DE UMA PROPOSTA DE MELHORIA NO PROCESSO DAS MÁQUINAS DE INJEÇÃO

Para que fosse possível apresentar uma proposta de melhoria no processo, era necessário antes de tudo, compreender as limitações e o funcionamento das máquinas do centro de injeção. Para tal, foi desenvolvido uma aplicação com o intuito de facilitar a coleta de todos os dados, os mesmos apresentados nos objetivos anteriores.

A aplicação foi desenvolvida em duas etapas: A primeira etapa do desenvolvimento consistiu em criar um formulário utilizando como base a linguagem de programação C#. Esse formulário foi utilizado pelos colaboradores do departamento de manutenção que ficaram responsável pelo preenchimento das informações de faturas e o o horário de funcionamento das máquinas.

A aplicação possui duas abas: A primeira aba “Cadastro Informações Fatura”, agrupará informações básicas sobre a fatura elétrica, que pode ser observado na Figura 6:

Figura 6 – Cadastro Informações Fatura

The screenshot shows a web application window titled 'Informações Motores'. It has two tabs: 'Cadastro Informações Fatura' (highlighted with a red box) and 'Horas de Produção Motores'. The form is divided into sections for 'Demanda Máxima (KW)' and 'Consumo (KWh)', each with input fields for 'P' and 'FP'. Below these are fields for 'Mês', 'Ano', and 'Valor R\$'. At the bottom, there is a user information section showing 'Usuário: Marcelo Augusto Kniss (Engenheiro de Processos Jr.)' and 'Acesso em: 17/10/2021 - 23:48'. Four buttons are present: 'Gravar', 'Alterar', 'Sair', and 'Histórico'. The footer indicates 'Desenvolvido por: Marcelo Augusto Kniss'.

Fonte: O autor (2021)

A segunda parte do formulário “Horas de Produção Motores”, é realizado preenchendo o horário em que cada uma das máquinas da linha de Injeção operaram.

A atualização dos dados é diária, pode-se verificar na Figura 7 a forma como os dados são inseridos.

Figura 7 – Aplicação - Horas de Produção Motores

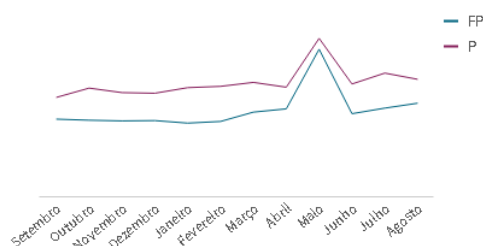
The screenshot shows the 'Horas de Produção Motores' tab (highlighted with a red box) of the 'Informações Motores' application. It features a 'Selecionar a Máquina:' dropdown menu with 'IMM10' selected, and a 'Data:' input field. Below this is a 'Selecionar o Horário de Funcionamento:' section with two columns of time slots: 'Manhã' (00:00 - 01:00 to 06:00 - 07:00) and 'Tarde' (12:00 - 13:00 to 18:00 - 19:00). Each slot has a checkbox. The user information and footer are identical to Figure 6.

Fonte: O autor (2021)

Após o cadastro dos dados, os mesmos são armazenados em um banco de dados SQL (*Structured Query Language*), que servirá como base para a segunda parte da aplicação, que utilizará o BI (*Business Intelligence*) Power BI.

O motivo de se utilizar o BI para a segunda parte da aplicação, é justamente pelo BI possuir uma vasta gama de ferramentas para a análise e o desenvolvimento de *Dashboards* e *KPIs*. O que tornaria a gestão e compartilhamento das informações com os Gestores e Diretores mais efetiva. Na Figura 8 pode-se observar a curva do fator de carga gerada pelo BI Power BI, em virtude aos dados obtidos pelo software desenvolvido.

Figua 8 – Curva do Fator de Carga - Gerado pelo BI Power BI



Fonte: O autor (2021)

Além da curva de carga também é possível confirmar o rendimento dos motores em estudo na Figura 9:

Figua 9 – Rendimento dos Motores - Gerado pelo Power BI

IMM 10 & IMM 20

92,4%

IMM 30 a IMM 60

91%

Fonte: O autor (2021)

A potência dos motores também pode ser encontrada, assim como mostra a Figura 10:

Figura 10 – Potência dos Motores - Gerada pelo BI Power BI



Fonte: O autor (2021)

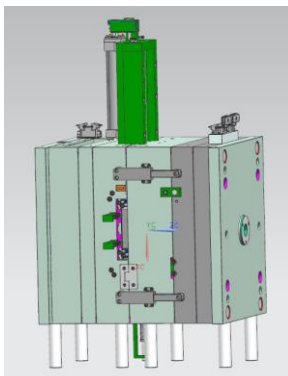
Com todas as informações dos motores acessíveis, uma tomada de decisão se tornou mais efetiva, assim como apresentação dos dados para os Gestores e a Diretoria.

Através dos dados coletados dos motores e das faturas pelo Software desenvolvido e com o apoio de indicadores formulador pelo BI Power BI, conseguiu-se propor a implementação no molde em umas das 6 Injetoras. Essa injetora será usada como base em todos os resultados apresentandos posteriormente.

A proposta de melhoria no processo da máquina de injeção, se baseava em sugerir uma implementação no molde. A implementação dobraria o número de cavidades disponíveis, tendo como consequencia uma melhora na produtividade da máquina.

Como dito anteriormente, a primeira parte da implementação da melhoria, era compreender o funcionamento dos motores das máquinas, assim como sua eficiência. Para dar inicio a segunda parte da implementação, antes de tudo era necessário estudar o molde para compreender se o mesmo suportaria a implementação proposta. Na figura 11 pode-se observar o molde 3D da Injetora apelidada de “IMM 60” desenvolvido em *SolidWorks* para estudo.

Figura 11 – Molde Injetora IMM 60 em estudo

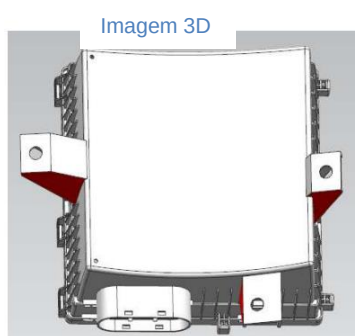


Fonte: O autor (2021)

Além de conhecer as características do molde, é importante compreender as características do produto e como o mesmo se comportará. Na figura 12 é possível verificar o produto em estudo:

Figura 12 – Produto de estudo

Item number	LP-2163	Product Material	PP+30%GF
Part name	Top Cover	Tool Description	Cool runner , single cavity
Part Volume	1100.59 cm³	Injection machine Tonnage	650T

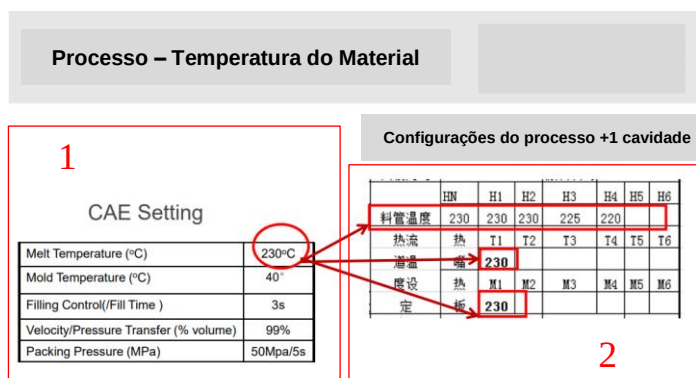


Fonte: O autor (2021)

Para fins de compreensão, foi realizado um estudo no molde apresentado na Figura 11, já com as características do processo alteradas. Ou seja, para compreender se o molde suportaria a modificação proposta, primeiramente foi realizado um estudo na matéria prima com o auxílio do software *SolidWorks*, que simularia as características do processo em um ambiente produtivo virtual levando em

consideração as características reais do processo já alterado. Na Figura 13 pode-se verificar (1) as informações obtidas pela simulação no *SolidWorks* da temperatura da matéria prima durante o processo e (2) as informações obtidas da matéria prima junto ao fornecedor.

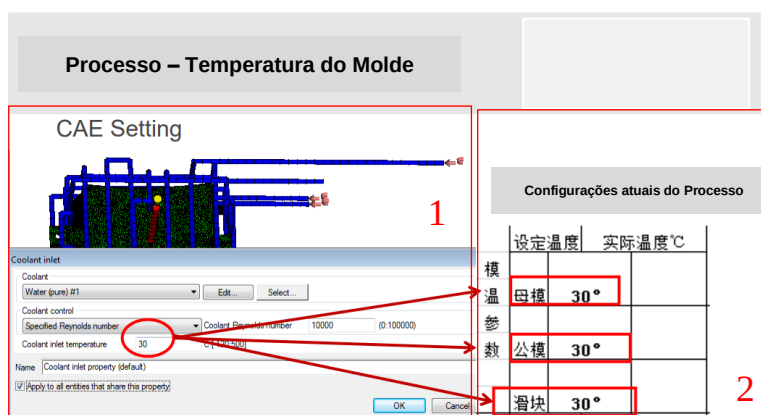
Figura 13 – Temperatura do Material



Fonte: O autor (2021)

Também é preciso ter em mente que é necessário manter a temperatura no molde estabilizada durante o processo. Na Figura 14 pode-se verificar o estudo realizado da mesma forma ao anterior, porém analisando a temperatura no molde. Comparando as características construtivas do molde (1) com os dados obtidos do desenvolvedor do molde em estudo. (2).

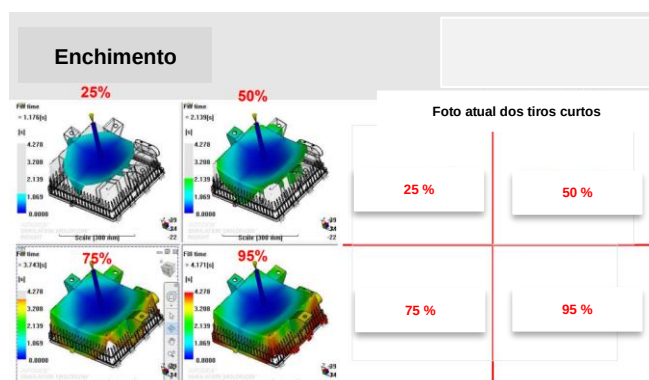
Figura 14 – Estudo Temperatura do Molde



Fonte: O autor (2021)

Além da temperatura, outra informação importante a ser levada em consideração é o tempo de enchimento da cavidade. Conhecer o tempo de enchimento é uma das etapas mais cruciais do processo, pois a temperatura precisa se manter estável e a cavidade precisa receber o material com um fluxo e pressão constante. Na Figura 15 é possível verificar a simulação realizada com o auxílio do *SolidWorks*.

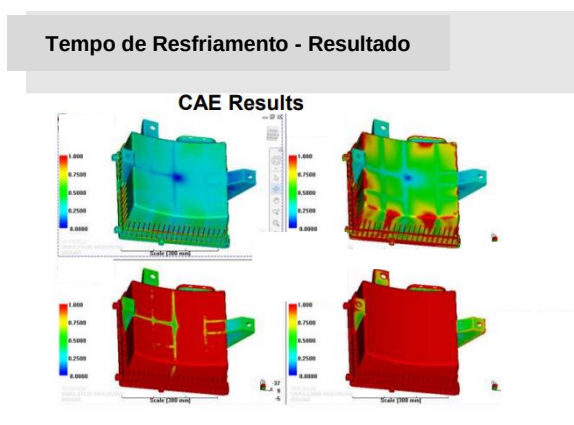
Figura 15 – Análise do Enchimento da Cavidade



Fonte: O autor (2021)

A última informação relevante, seria conhecer o tempo de resfriamento da cavidade logo após o enchimento. Na Figura 16 é possível com o auxílio do *SolidWorks* entender o melhor o tempo de resfriamento da cavidade.

Figura 16 – Tempo de Resfriamento



Fonte: O autor (2021)

Com todas as informações acima levantadas, foi possível comprovar tecnicamente, que uma adaptação no molde era possível e que a implementação era viável, tendo como resultados a eficiência da produção dobrada na máquina em estudo. O cálculo de retorno dos investimento será apresentado mais adiante

3.6 CÁLCULO DO RETORNO DE INVESTIMENTOS

Após a melhoria implementada na máquina de injeção, pode-se perceber um retorno imediato. Na Tabela 6 é possível verificar algumas informações básicas sobre valores e processo de produção da peça injetada antes da implementação do molde.

Tabela 6 – Dados da Peça Injetada antes da modificação

Part Number	Cycle Time	Peças/h	Valor MOB + Impostos
LP-2163	0,30s	120	R\$ 3,21

Fonte: O autor (2021)

Em um turno de trabalho, descontando 5% em média da taxa de refugos, eram produzidas 1.008 peças a um valor de R\$ 3,21 por peça, dando um total de R\$ 3.073,90 em peças produzidas por turno. Sabendo que a máquina trabalha em 3 turnos, o retorno era de R\$ 9.221,69 por dia, dando em média R\$ 193.655,85 por mês e R\$ 2.323.865,38 por ano.

Após a implementação, obteve-se os seguintes valores que podem ser conferidos na Tabela 7.

Tabela 7 – Dados da Peça Injetada após a modificação

Part Number	Cycle Time	Peças/h	Valor MOB + Impostos
LP-2163	0,31s	240	R\$ 3,21

Fonte: O autor (2021)

Na Tabela 7 fica claro que após a implementação, houve um aumento de quase 0,1 segundos *no Cycle Time* da peça. Porém mesmo assim, ainda é um

aumento que tem como resultado um baixo impacto considerao ao tamanho do retorno obtido.

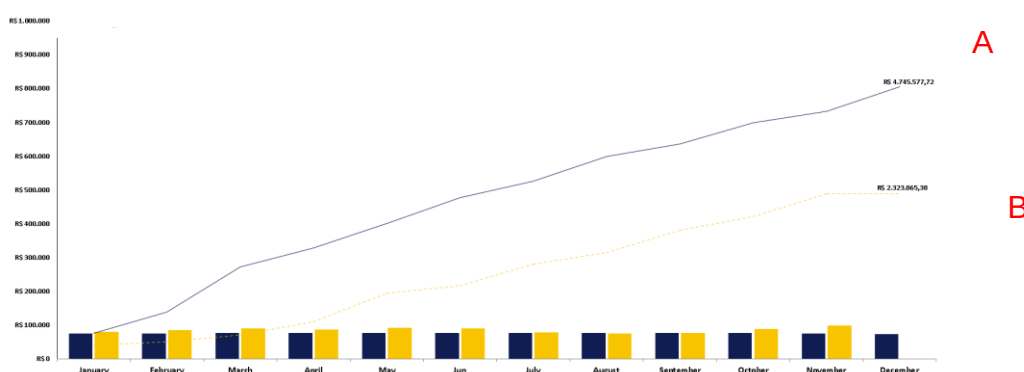
A questão é que ao refazer as contas para o cálculo dos ganhos, é necessário levar em conta que antes da implementação do molde, a taxa de refugos média era em torno de 5% e que agora caiu para 3% devido a planos de manutenções preventivas implementados e que serão apresentados mais a seguir.

Em um turno de trabalho, descontando 3% a taxa de refugos, após a implementação são produzidas 1.956 peças a um valor de R\$ 3,21 por peça, dando um total de R\$ 6.277,22 em peças produzidas por turno. Sabendo que a máquina trabalha em 3 turnos, o retorno é de R\$ 18.831,66 por dia, dando em média um retorno de R\$ 395.464,81 por mês e R\$ 4.745.577,72 por ano. Um aumento de praticamente 49% na produção. Para o cálculo de retorno do investimento, é necessário levar em conta que o valor investido no ferramental foi aproximadamente R\$ 1.115.800,00, e que o retorno em R\$ em um mês de produção da máquina é de R\$ 395.464,81.

Ou seja, para que o molde se pagasse, foi necessário 63 dias de operação da máquina operando em 3 turnos.

Na Figura 17 é possível observar o roadmap de produção em R\$ da Máquina antes x depois da implementação. A linha pontilhada amarela (B), representa os ganhos antes da implementação, enquanto a linha azul (A) representa os ganhos após a implementação.

Figura 17 – Roadmap de produção da Máquina antes x depois da Implementação



Fonte: O Autor (2021)

3.7 DESENVOLVIMENTO DE UM PLANO DE MANUTENÇÃO PARA AS MÁQUINAS EM ESTUDO

Após a implementação do molde da injetora, foi necessário desenvolver um plano de manutenção, pois a mesma não possuía. Problemas pela falta de um planejamento de manutenção, como por exemplo quebras e paradas inesperadas eram comuns, o que impactava na indisponibilidade da mesma.

As informações do estudo foram coletadas pela equipe de Engenharia por meio de um gerenciador, chamado Engenharia Gerenciamento e Automação (EGA), instalado na máquina durante um período de seis meses, garantindo a confiabilidade das informações. O Gerenciador pode ser visto na Figura 18.

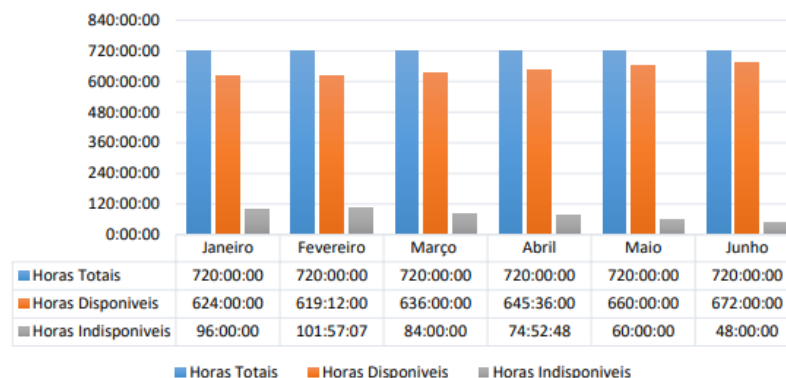
Figura 18 – Gerenciador de Produção e Automação



Fonte: O Autor (2021)

Após a análise das informações proveniente da máquina, foi possível identificar o percentual de indisponibilidade resultante de paradas imprevistas, e posteriormente quantificar em valores os custos da máquina parada.

A análise apontou uma indisponibilidade média durante seis meses de 10,7%, ilustrada na Figura 19, informações extraídas do EGA. Dessa maneira identificou-se que do tempo total disponível para produção, a máquina dispunha apenas de 87% do seu tempo total para a produção, gerando um desperdício de mão de obra e recursos da fábrica.

Figura 19 – Gráfico de Disponibilidade

Fonte: O Autor (2021)

A Tabela 8 ilustra o impacto dos custos de operação e manutenção diante de um cenário de 13% na indisponibilidade. As informações de valores foram fornecidas pela controladoria da empresa analisada no estudo, sendo esses os reais valores aplicados no fechamento de contas da mesma. Para máquina foi atribuído um valor de R\$ 285,00/hora, independentemente de estar em operação ou não. Os custos contemplam também a energia elétrica consumida pela mesma. Para mão de obra operacional o valor fixo do colaborador é de R\$ 1.579,60 divididos em 220 horas trabalhadas no decorrer do mês, independentemente de a máquina estar operando ou não. E para mão de obra técnica o valor fixo é R\$ 3.799,40 divididos em 220 horas trabalhadas.

Tabela 8 – Custos Operacionais de Paradas Imprevistas

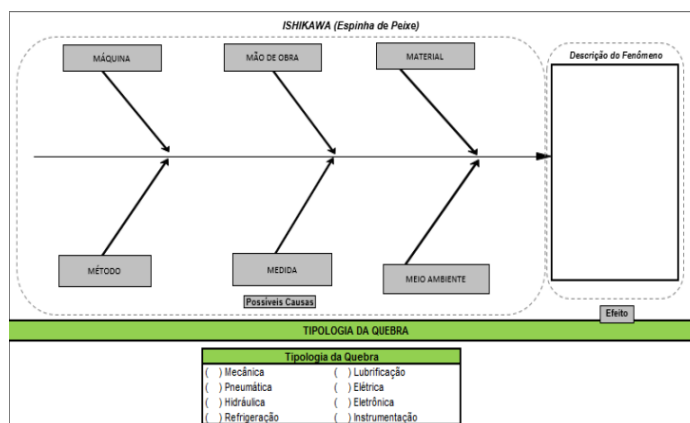
Item	Custo Hora	Horas Indisponíveis	Total
Máquina	R\$ 285,00	77,34	R\$ 22.041,90
MO Operacional	R\$ 7,18	77,34	R\$ 555,30
MO Técnica	R\$ 17,27	77,34	R\$ 1.355,66
Total			R\$ 23.952,86

Fonte: O Autor (2021)

Para a correta aplicação da manutenção preventiva foi usado o Diagrama de Ishikawa, representado na Figura 20, para identificar as possíveis causas raiz de uma

determinada falha ou quebra, e qual categoria de variações no processo representa a maior fonte de variabilidade.

Figura 20 – Diagrama de Ishikawa



Fonte: O Autor (2021)

Lubrificação é a atividade de menor valor e maior eficiência para a manutenção preventiva, em máquinas injetoras antigas, como a estudada, a lubrificação é realizada manualmente, diferente de máquinas atuais, em que a lubrificação é realizada automaticamente num reservatório equipado com uma bomba que distribui o lubrificante especificado, por todos os pontos necessários de lubrificação. A Figura 21 ilustra o checklist de lubrificação desenvolvido para que problemas por falta de lubrificação não ocorresse mais.

Figura 21 – Checklist de Lubrificação da Máquina em Estudo

200 horas de trabalho					
600 horas de trabalho					
1200 horas de trabalho					
2500 horas de trabalho					
6000 horas de trabalho					
Operações	6000	2500	1200	600	200
Engraxar o sistema de regulagem de altura do molde.					•
Controlar e repor o nível de óleo do reservatório da unidade de lubrificação automática (pressão máxima de 50 bar).					•
Limpeza do filtro da unidade de lubrificação.			•		
Controle do funcionamento do alarme de lubrificação.			•		
Controle e regulagem da frequência de lubrificação.				•	
Controlar e repor o nível de óleo no lubrificador (protetor automático) - opcional.					•
Controle da perda de óleo através do pressostato			•		

Fonte: O Autor (2021)

A manutenção preditiva é a forma mais eficaz de se atingir a confiabilidade, e essa técnica de manutenção é baseada em análise e planejamento de manutenção.

No entanto, sua aplicação na injetora em estudo era incomum, pois essa técnica possui custo elevado e requer um contingente de técnicos e engenheiros de manutenção qualificados para a correta execução das análises e atividades provenientes desta técnica. Contudo, atividades de manutenção preditiva, como a análise termográfica, análise de vida útil de óleo hidráulico e vibrações foram implementadas para a adequação do equipamento e assim, aumentando sua vida útil.

Essas atividades simples são eficientes e de menor custo, pois necessitam o mínimo de qualificação técnica para interpretação dos dados coletados pelos instrumentos de medição, contribuindo diretamente na confiabilidade.

A inspeção termográfica possibilita a detecção de qualquer fonte anormal de calor, quando aplicada em partes elétricas e capaz de identificar fugas de energia como terminais desajustados. Essa fuga de energia pode ser rapidamente corrigida antes que o sobreaquecimento danifique componentes da máquina, e consequentemente, economizar energia. A Figura 22 exemplifica o uso de uma câmera termográfica Fluke na Injetora em estudo.

Figura 22 – Câmera Termográfica



Fonte: O Autor (2021)

Um fator crucial para a performance de máquinas injetoras é a qualidade do óleo hidráulico. A análise da vida útil do óleo auxilia na sua correta filtragem, pois quanto menor for o indício de partículas ou fluidos contaminantes, melhor será a performance, uma vez que o óleo hidráulico é responsável por boa parte das funções

de uma injetora. Com isso, um óleo contaminado pode gerar paradas intermitentes e reduzir significativamente a confiabilidade.

Máquinas injetoras normalmente utilizam uma grande quantidade de fluido hidráulico. A injetora estudada no presente trabalho apresentava alta incidência de paradas intermitentes, como perda de pressão no sistema hidráulico, aumento repentino de pressão hidráulica, redução na velocidade dos movimentos e sobre aquecimento do sistema.

Uma pequena quantidade de óleo hidráulico foi enviada para análise em uma empresa especializada, e o resultado mostrou que havia uma grande quantidade de partículas sólidas no fluido hidráulico dessa injetora. Havendo a necessidade de sua filtragem, pois os níveis químicos do fluido ainda eram considerados dentro das normas técnicas. Porém somente a filtragem não foi suficiente para garantir a eficiência, sendo necessário a limpeza do reservatório do fluido, pois partículas metálicas proveniente de desgaste natural de peças rotativas, como rolamentos e buchas, foram depositadas no fundo do reservatório hidráulico.

A Figura 23 ilustra a condição em que estava o reservatório de fluido hidráulico, comprovando o resultado da análise feita pela empresa especializada, que a origem das falhas intermitentes ligadas a temperatura, velocidade e pressão, estavam diretamente ligadas a grande contaminação do fluido hidráulico. Durante a intervenção técnica, o reservatório foi devidamente limpo e todo o fluido hidráulico foi filtrado até atingir as condições aceitáveis de pureza e viscosidade estabelecida pelo fabricante de fluido hidráulico.

Figura 23 – Reservatório Hidráulico



Após a intervenção, uma rotina de inspeção e filtragem foi criada, além de uma análise feita pela empresa especializada trimestralmente. Um equipamento de filtragem é instalado na injetora a cada 100 horas trabalhadas com a finalidade de assegurar a qualidade do fluido hidráulico. Na Figura 24 pode-se ver o equipamento de filtragem de óleo em pleno funcionamento.

Figura 24 – Filtragem do Óleo



Fonte: O Autor (2021)

A Análise de vibração também é uma ferramenta da manutenção preditiva com maior execução em campo, que possibilita encontrar fontes de ruídos anormais e corrigi-los antes de seu colapso.

Nas injetoras em estudo essa técnica é empregada principalmente em motores elétricos e bombas hidráulicas. A Figura 25 mostra um aparelho utilizado em estudo para analisar vibração.

Figura 25 – Analisador de Vibração



Fonte: O Autor (2021)

Após a intervenção técnica realizada na injetora em estudo, foram levantados os custos envolvidos nas atividades de manutenção preventiva. A Tabela 9 ilustra itens, componentes, quantidades e o custo relacionado a manutenção preventiva. Por meio dessa tabela, é possível visualizar o valor total aplicado durante os cinco dias em que a máquina esteve disponível para manutenção.

Tabela 9 – Custos relacionados a manutenção preventiva

Atividade	Quantidade	Item	Valor
Filtragem de Óleo	01	Elemento filtrante	
		011698 10FV Micras	R\$ 1.136,00
Filtragem de Óleo	01	Elemento filtrante ar	R\$ 264,00
Pré Carga	04	Anel O' ring (158,34x165,4x3,53)	R\$ 22,96
Pré Carga	04	Gaxeta Sabó1640	R\$ 71,60
Pré Carga	03	Junta plástica 515	R\$ 725,97
		Retifica dos Cilindros	
		Hidráulicos de Avanço e	
Mão de Obra		Recuo da Unidade	
Terceirizada	01	Injetora	R\$ 12.120,00
Material de Limpeza	04	JC Grax 44 (20 litros) Incolor	R\$ 552,00
Material de Limpeza	02	Querosene 5litros	R\$ 114,00
Material de Limpeza	200	Saco Alvejado	R\$ 200,00
Total			R\$ 15.206,53

Fonte: O Autor (2021)

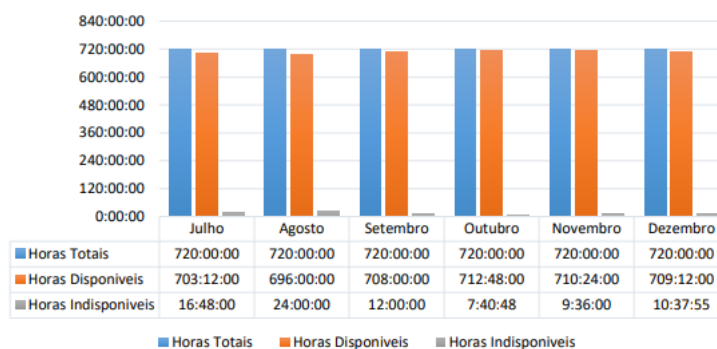
A manutenção preventiva realizada na injetora em estudo, teve como principal objetivo a substituição ou reparo de qualquer item ou componente que apresentasse indícios de falhas ou quebras inesperadas após a implementação do molde. Por meio do Diagrama de Ishikawa, foram analisadas as falhas ocorridas no intervalo de janeiro a julho de 2019, dando visibilidade à falhas futuras.

As informações provenientes do Diagrama de Ishikawa apontaram indícios de falhas em itens antes não perceptíveis, como fluido hidráulico e calibrações inadequadas em válvulas proporcionais. Uma nova análise de disponibilidade foi realizada na injetora em estudo após a intervenção de manutenção preventiva, no período de julho a dezembro de 2019.

A Figura 26 ilustra claramente o aumento de disponibilidade da injetora em estudo após a intervenção da manutenção preventiva, havendo uma redução de 13% para 1,83% em paradas não planejadas, apontando um ganho significativo em

confiabilidade, assim como uma redução de 5% para 3% em refugos gerados pela máquina.

Figura 26 – Disponibilidade da Injetora



Fonte: O Autor (2021)

A análise correspondeu aos mesmos critérios descritos anteriormente a intervenção preventiva, deixando evidente o aumento significativo em confiabilidade.

A manutenção preventiva teve como principal finalidade o aumento em confiabilidade e consequentemente a melhora em performance, influenciando positivamente nos custos operacionais de fabricação. Para melhor expressar este ganho, uma nova análise de custo operacional foi realizada, seguindo os critérios anteriores à manutenção preventiva realizada na injetora, os dados são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 – Custo Operacional de Paradas Imprevistas

Item	Custo Hora	Horas Indisponíveis	Total
Máquina	R\$ 285,00	13,26	R\$ 3.779,10
MO Operacional	R\$ 7,18	13,26	R\$ 95,20
MO Técnica	R\$ 17,27	13,26	R\$ 228,20
Total			R\$ 4.102,50

Fonte: O Autor (2021)

A Tabela 10 apresenta os resultados dos seis meses após a manutenção preventiva, sendo os valores, uma média calculada sobre os meses analisados. Os

ganhos são significativos, comprovando a redução de indisponibilidade da injetora em estudo. Por fim, com o auxílio do time de manutenção, foi desenvolvido um checklist de manutenções preventivas para a injetora em estudo.

Na Figura 27 é possível verificar uma parte do checklist de manutenções preventivas desenvolvido.

Figura 27 – Checklist de Manutenções Preventivas

Parte Avaliada	Itens de inspeção	Item	Item de avaliação	Método de avaliação
Camara quente	Tomadas de camara quente	1.01	Plug Macho com pinos corretos?	Visual
		1.02	Plug Fêmea com pinos corretos?	Visual
		1.03	Base alta fixada adequadamente?	Visual
		1.04	Lay Out de ligação correto?	Esquema de ligação
	Resistência	1.05	Continuidade da resistencia OK?	Medição Multímetro
		1.06	Valor da resistencia - Potencia?	Medição Multímetro
		1.07	Enrolamento no Bico	Visual
		1.08	Area de contato com bico	Visual
	Termopares	1.09	Continuidade elétrica	Medição Multímetro
		1.10	Leitura de temperatura	Controlador de temperatura
		1.11	Fixação no ponto de medição	Visual
		1.12	Integridade do ponto de medição	Visual

Fonte: O Autor (2021)

O aumento em confiabilidade proporciona um maior aproveitamento do equipamento e mão de obra, reduzindo os custos operacionais ligados ao processo de fabricação. Outro fator importante é, quanto maior for a uniformidade do processo, menor serão os riscos de acidentes de trabalho.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este estudo contemplou os aspectos relacionados a manutenção preventiva em máquinas injetoras de plástico, visando determinar os benefícios da estratégia de manutenção preventiva neste setor. O estudo comprovou a eficiência da manutenção preventiva, que há décadas vem sendo difundida na indústria, mas que ao passar dos

anos foi banalizada por não ser utilizada corretamente. Os números mostram claramente o ganho em confiabilidade e performance do equipamento em estudo, e ilustram os ganhos financeiros e operacionais obtidos após a intervenção da manutenção preventiva.

Durante um ano a injetora em estudo passou por análises, sendo seis meses anteriores a intervenção da manutenção preventiva e seis meses após a intervenção, afim de garantir a confiabilidade das informações coletadas e amostradas aqui neste estudo.

No início do estudo, a Injetora apresentava uma indisponibilidade média de 13% gerando um custo operacional de R\$ 23.932,86, proveniente de paradas técnicas imprevistas. Com um investimento de R\$ 15.206,53 em peças e serviços, foi possível reduzir a indisponibilidade para 1,83%, que representam um custo operacional de R\$ 4.102,50, representando uma redução de 83% nos custos operacionais provenientes de paradas imprevistas.

Diante das informações apresentadas neste estudo, fica claro os benefícios provenientes da manutenção preventiva, eliminando quaisquer questionamentos sobre esta ferramenta da manutenção industrial. Sendo, assim, a forma mais eficaz de se atingir a confiabilidade e performance de máquinas e equipamentos.

É importante ressaltar que para se executar uma correta manutenção preventiva, deve-se analisar o perfil de cada empresa, as características e peculiaridades de cada máquina ou equipamento. Na empresa em questão, a base para toda a análise e desenvolvimento do estudo, partiu primeiramente da compreensão da eficiência energética nos equipamentos. Dessa forma, foi possível desenvolver um plano de manutenção preventiva como ponto principal do estudo, e assim obter todos os resultados apresentados.

CONCLUSÃO

No trabalho apresentado vale destacar o superdimensionamento presente nos motores da indústria brasileira. Devido ao superdimensionamento, mais energia reativa será gerada nas instalações dessas indústrias, o que aumentará as perdas com potência e energia resultando em custos elevados na fatura elétrica.

A eficiência do motor também diminuirá quando ele for superdimensionado pois consumirá muito mais energia do que um motor com a potência correta, devido a uma

condição de trabalho muito diferente daquela para a qual foi projetado. Uma boa eficiência só pode ser obtida quando ele funciona próximo à sua potência nominal.

Porém somente compreender a eficiência dos motores e equipamentos não é o suficiente, é preciso perceber e observar todo o processo envolvido, assim como a importância das manutenções e acima de tudo, estar ciente dos impactos que a falta das manutenções preventivas podem trazer para toda a indústria.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAJAY, S.; JANNUZZI, G.; HEIDEIER, R.; VILELA, I.; PACCOLA, J.; GOMES, R. **Reflexões para o setor elétrico de hoje e do futuro**. Geração Distribuída e Eficiência Energética, 1. ed. 2019.

BECKER, Lidomar. **Acionamentos Elétricos**. 1. ed. Joinville, 2008.

HEWITSON, L. G.; BROWN, M.; BALAKRISHNAN, R. **Practical Power Systems Protection**. Elsevier - Newnes, 2004

FERREIRA, Fabio Isaac. **Instalações elétricas**. 1. ed. Erica, São Paulo, 2018.

TORO, V. D. **Fundamentos de máquinas elétricas**. 2. ed. Rio de Janeiro.

CHAPMAN, S. J. **Electric Machinery Fundamentals**. 4. ed. Rio de Janeiro: McGraw Hill do Ensino Superior, 2004..

EBERLE. **Motores Elétricos Trifásicos Industrial e Alto Rendimento**, 2003.

MAMEDE FILHO, João. **Instalações Elétricas Industriais**. 7. ed. Rio de Janeiro, 2007.

PINTO, Álvaro Braga Alves, **A Norma ISO 50001**. Edição do Autor, São Paulo, 2011.

SCHNEIDER. **Eficiência Energética e Acionamento de Motores**. 2003.

WEG. **Cálculo do Consumo de Um Motor Elétrico**. Jaraguá do Sul, 2014.

MONTEIRO, Maria. **GUIA PARA TRABALHOS ACADÊMICOS DA REDE SOCIESC**. DC 6025 ed 09

GARCIA , Agenor Gomes Pinto (2003). **Impacto da lei de eficiência energética para motores elétricos no potencial de conservação de energia na indústria**. Disponível em: <<http://antigo.ppe.ufrrj.br/ppes/production/tesis/agpgarcia.pdf>>. Acesso em: 09 de março de 2021.

LARA, A. M. **Eficiência energética em edificações e equipamentos**, 2009.

NBR 17094-1 **Máquinas elétricas girantes** - Motores de indução - Parte 1: Trifásicos. Rio de Janeiro. Associação Brasileira de Normas Técnica - ABNT, 2013. 77p.

ELEKTRO **Eficiência energética - Fundamentos e aplicações**. Disponível em: < <https://www.elektro.com.br/sustentabilidade/eficiencia-energetica>>. Acesso em 20 de junho de 2020.

VERTIV. **Groudins Systems. Educacional series. Why test?**. Disponível em: <<https://www.vertiv.com/globalassets/shared/why-test-grounding-systems.pdf>>. Acesso em 27 de abril de 2020.

Increasing Energy Inefficiency. **We are getting less efficient at converting energy into usable forms**. Disponível em: <<https://spectrum.ieee.org/energy/policy/increasing-energy-inefficiency>>. Acesso em 14 de março de 2021.

Smart Energy Regions. **A Key Strategy to Scaling the Transition to a Low-Carbon Society**. Disponível em: <<https://smartgrid.ieee.org/newsletters/september-2016/smart-energy-regions-a-key-strategy-to-scaling-the-transition-to-a-low-carbon-society>>. Acesso em março 15 de abril de 2021.

Copel. **Demanda**. Disponível em: <<https://www.copel.com/hpcweb/copel-distribuicao/para-sua-empresa/demanda/>>. Acesso em 27 de maio de 2021.

BRASIL. Lei nº 10295, de 17 de outubro de 2001. **Dispõe sobre a política nacional de conservação e uso racional de energia e dá outras providências**. Brasília, 2001. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/LEIS_2001/L10295.htm>. Acesso em: 03 de maio de 2020.

Earth Policy Institute. **World on the Edge by the Numbers – Shining a Light on Energy Efficiency**, Julho 2011. Disponível em: <http://www.earth-policy.org/data_highlights/2011/highlights15>. Acesso em: 03 de maio de 2020.

Energy Efficiency: Strategic Programs And Innovative Technologies In Selected Countries. Disponível em: <<http://web.b.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=1&sid=dbd4f039-c9f7-4962-8dd4-3901f266c75d%40pdc-v-sessmgr03>>. Acesso em 14 de maio de 2021

TAVARES, L. A. **Manutenção centrada no negócio**. 1ª edição. Rio de Janeiro, 2005. 164 p.

MURTY, A., & NAIKAN, V. **Availability and maintenance cost optimization of a production plant**. Management, 1995.

MORAES, P.H.A. **Manutenção Produtiva Total: estudo de caso em uma empresa automobilística**, 2004.

MOUBRAY, J. **Introdução à Manutenção Centrada na Confiabilidade**, 2002.

CABRITA, G. **A manutenção na indústria automotiva**, 2002.

FREITAS, M. A. S. **Implementação da Filosofia TPM** (*Total Productive Maintenance*): **um estudo de caso**. Disponível em: <<https://www.epr.unifei.edu.br/TD/producao2002/PDF/Marco.PDF>>. Acesso em: 22 NOV. 2020.

WITTMANN BATTENFELD. Disponível em: <<https://www.wittmannngroup.com/company.html>>. Acesso em 20 OUT. 2018>. Acesso em 18/09/2020.