

Trabalho de Conclusão de Curso 2021/2
Engenharia Mecânica

MATIPÓ
2021

SUMÁRIO

ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DE UMA UNIDADE DE FILTRAGEM <i>OFF-LINE</i> PARA O ÓLEO ISO VG 32.....	3
GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ATRAVÉS DA BIOMASSA DE DEJETO SUÍNO.....	22
INDÚSTRIA 4.0 E EFICIÊNCIA DAS MÁQUINAS CNC PARA CORTE DE AÇO EM UMA INDÚSTRIA METALÚRGICA.....	43
PROTEÇÃO CATÓDICA TÉCNICA DE COMBATE À CORROSÃO.....	70
PROJETO E FABRICAÇÃO DE UMA BANCADA DIDÁTICA PARA ESTUDOS DE UM MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA.....	86
DIMENSIONAMENTO DE UMA TURBINA RADIAL USANDO O MÉTODO DA LINHA MÉDIA.....	121
PLANO DE MANUTENÇÃO E LUBRIFICAÇÃO EM MAQUINÁRIOS DE BENEFICIAMENTO DE CAFÉ.....	153
ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE GATILHOS DE INICIAÇÃO PARA ABSORÇÃO DE ENERGIA EM <i>CRASH BOX</i>	185

ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DE UMA UNIDADE DE FILTRAGEM *OFF-LINE* PARA O ÓLEO ISO VG 32

Acadêmico: Marcos Vinícius Silva e Rocha

Orientador: Rieder de Oliveira Neto

Resumo

O lubrificante hidráulico LUBRAX HYDRA XP 32 tem a capacidade reduzir o atrito entre os componentes, prolongando, assim, a vida útil do equipamento. Porém, quando há um desvio nas suas propriedades eles podem falhar, pois os óleos estão sujeitos à deterioração pela oxidação, contaminação ou a perda das propriedades físico-químicas. O óleo hidráulico é utilizado, por exemplo, em sistemas que requerem precisão em movimentos e força para erguer cargas elevadas. Ele também possui a função de lubrificar os componentes dos equipamentos em que ele circula. A utilização de um sistema de filtragem *off-line* proporciona uma vantagem para o tratamento de óleos contaminados em equipamentos, possibilitando o tratamento do óleo com o equipamento em operação e, assim, reduzindo o tempo de parada para manutenção na produção da indústria. A proposta do presente trabalho é certificar se a unidade de filtragem *off-line* utilizada pela empresa em questão está atendendo aos parâmetros estabelecidos pela indústria e pela unidade hidráulica, utilizando a norma ISO 4406 para a contagem de partícula. Para a análise do óleo, a coleta foi realizada com bomba a vácuo manual e o armazenamento em frasco esterilizado para ser enviado ao laboratório para a realização dos testes. Esta coleta não pode ser realizada com a mangueira tocando o fundo e nem em dreno, pois deve pegar as partículas que estão suspensas no fluido. A contagem de partícula tem a função de determinar quais os tamanhos das partículas estão presentes no óleo e, assim, determinar qual melhor tipo de tratamento a ser aplicado, além de quais as faixas de partículas podem danificar os componentes do equipamento. Após a realização dos testes em laboratório, serão emitidos dois laudos. Os resultados foram obtidos por meio de contagem de partículas para a devida finalidade, e determinar quais faixas de tamanho das partículas estão suspensas no fluido e assim podendo determinar qual a faixa de contaminação em que se encontra o óleo. O teste confirma que houve uma redução das partículas encontradas, mas que não foi o suficiente para atender aos parâmetros de limpeza do óleo — menor ou igual a ISO 18/16/13 — exigidos pela empresa proprietária do equipamento.

1 INTRODUÇÃO

Para Fitch (2011), os óleos lubrificantes hidráulicos são usados para garantir o bom funcionamento e a durabilidade dos componentes dos equipamentos, por meio da lubrificação de sistemas hidráulicos e de sistemas circulatórios. Além disso, para que não ocorram falhas, possibilitam reduzir o atrito entre as peças, prolongando a vida útil dos componentes.

Segundo Lazzarotto (2020), os óleos com origem na base mineral possuem menores custos e são os mais utilizados. Quanto à origem, o óleo mineral vem da camada mais bruta do petróleo com uma cadeia de 20 a 25 átomos de carbono, um fator que influencia na viscosidade e na massa molecular, que, quanto maior for, maior será a viscosidade.

Devido à necessidade das indústrias — em que houve um grande avanço nos equipamentos com ajustes cada vez mais precisos e motores mais potentes e altas temperaturas — surgiram os óleos sintéticos, desenvolvidos em laboratórios, cuja principal característica é manter, para uma variação maior de temperatura, uma fina camada de óleo nos componentes por mais tempo (LAZZAROTTO, 2020).

Em uma indústria, é inevitável a geração de contaminantes nos óleos lubrificantes, pode-se reduzir a entrada e a geração deles, mas não os eliminar. O fator de degradação e contaminação dos óleos pode ser definido mediante as condições de operação das máquinas, até mesmo, dos componentes dessas, da frequência de partidas a frio e das condições ambientais como temperatura e umidade relativa do ar.

Segundo Eaton (2017), a filtragem *off-line* dos óleos industriais tem a função de aumentar a vida útil dos equipamentos, podendo ser utilizado o tempo necessário para que o óleo atinja a limpeza ideal, culminando num retorno financeiro para as empresas com um descarte mínimo de óleo, uma redução na manutenção dos equipamentos. Previamente, deve haver uma análise do óleo, para determinar as condições desse lubrificante e, assim, atuar de forma preventiva para garantir a disponibilidade dos equipamentos.

Segundo Oliveira (2013), uma faixa de 75% de todos os problemas dos equipamentos hidráulicos e mecânicos das máquinas está diretamente relacionada aos contaminantes existentes em sistemas que provocam a degradação do fluido e, assim aumenta o desgaste prematuro dos componentes e o surgimento de vazamentos, perda de produtividade e um aumento da temperatura.

Para Oliveira (2013), a capacidade de filtração fica diretamente ligada ao sistema de filtragem utilizado. A filtragem nominal é caracterizada pela baixa eficiência de filtração, além de que, os resultados prometidos são raramente reproduzíveis. Já a filtragem absoluta, ao contrário da nominal, atende a aplicações críticas que necessitam de remoção mais eficaz de contaminantes. Filtros com essa

característica possuem uma retenção maior ou igual a 99,5% na remoção de partículas.

O presente trabalho tem como objetivo principal analisar a eficiência de uma unidade de filtragem *off-line* para óleo ISO VG 32. Foram realizadas duas análises do óleo em laboratório para a validação do sistema de filtragem, o parâmetro considerado nas análises foi a contagem de partícula.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 LUBRIFICANTES E LUBRIFICAÇÃO

Segundo Weidlich (2009), há uma variedade de classificação para os lubrificantes, em que estes são agrupados conforme características comuns a fim de facilitar a sua descrição. De modo geral, podem ser catalogados de acordo com a sua origem, sua base a cru, sua refinação, seu uso comercial e principalmente sua viscosidade e tipo de serviço.

Ainda de acordo com o mesmo autor, os lubrificantes podem ser divididos em quatro categorias, seguindo seu estado físico Figura1.

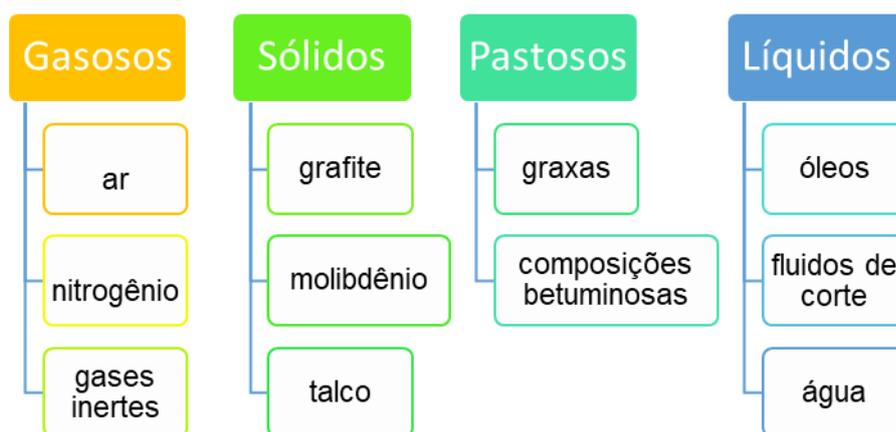


Figura 1: Categorias dos tipos de lubrificantes.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A lubrificação é tratada como um dos métodos mais eficientes para redução nos fenômenos ocasionados pela fricção entre as superfícies de sólidos e, por consequência, responsável pela maximização da vida útil dos componentes. A

tribologia é o campo que estuda tais fenômenos e sua relação com o desgaste sofrido por tais materiais (LEME, 2016).

2.2 ÓLEO HIDRÁULICO ADOTADO

O óleo lubrificante utilizado neste trabalho foi o LUBRAX HYDRA XP 32 que, segundo o fabricante, é indicado para lubrificação de sistemas hidráulicos que operem em condições severas de pressão e temperatura.

O óleo hidráulico LUBRAX HYDRA XP 32, cujas características estão apresentadas na Tabela 1, atende aos requisitos dos testes de estabilidade térmica CINCINNATI MACHINE, de filtrabilidade DENISON e de desgaste em bombas de palhetas VICKERS e DENISON, sendo indicado quando requerido um óleo DIN 51524 parte 2 (categoria HLP). Ele é formulado com óleos básicos parafínicos e aditivos: anticorrosivo; antidesgaste; antiespumante; antiferrugem; antioxidante e abaixador do ponto de fluidez (LUBRAX, 2011).

Tabela 1: Dados das análises típicas para o óleo lubrificante LUBRAX HYDRA XP 32.

Análises típicas		Grau ISO 32
Densidade a 20/4	°C	0,863
Ponto de Fulgor (VA)	°C	232
Ponto de Fluidez	°C	-21
Viscosidade a 40°C	cSt	30,2
Viscosidade a 100°C	cSt	5,38
Índice de Viscosidade		113
Índice de Acidez Total	mgKOH/g	0,41
Demulsibilidade (tempo de separação) a 54°C:	minutos	16

Fonte: Adaptado de LUBRAX HIDRA – Informações técnicas (2011)

2.3 CONTAMINAÇÃO EM FLUIDOS

São classificadas como contaminantes as substâncias indesejadas presentes nos fluidos, sejam em seu estado natural ou depois de utilizados. O nível de contaminação é significativo e faz-se necessária a remoção dessas impurezas do fluido transportador, mantendo a contaminação a níveis aceitáveis. O fluxo de materiais contaminantes — líquidos, sólidos rígidos ou deformáveis — pode ser

prejudicial para o consumidor ou outro usuário do fluido se esse permanecer no estado contaminado. Por isso, os contaminantes são alvos de um ou mais processos de separação (SUTHERLAND, 2008, *apud* ANDRADE 2018).

Na Figura 2, são relacionados os tipos de contaminação mais comuns em lubrificantes e sua classificação em: pouco prejudicial; muito prejudicial e extra prejudicial.

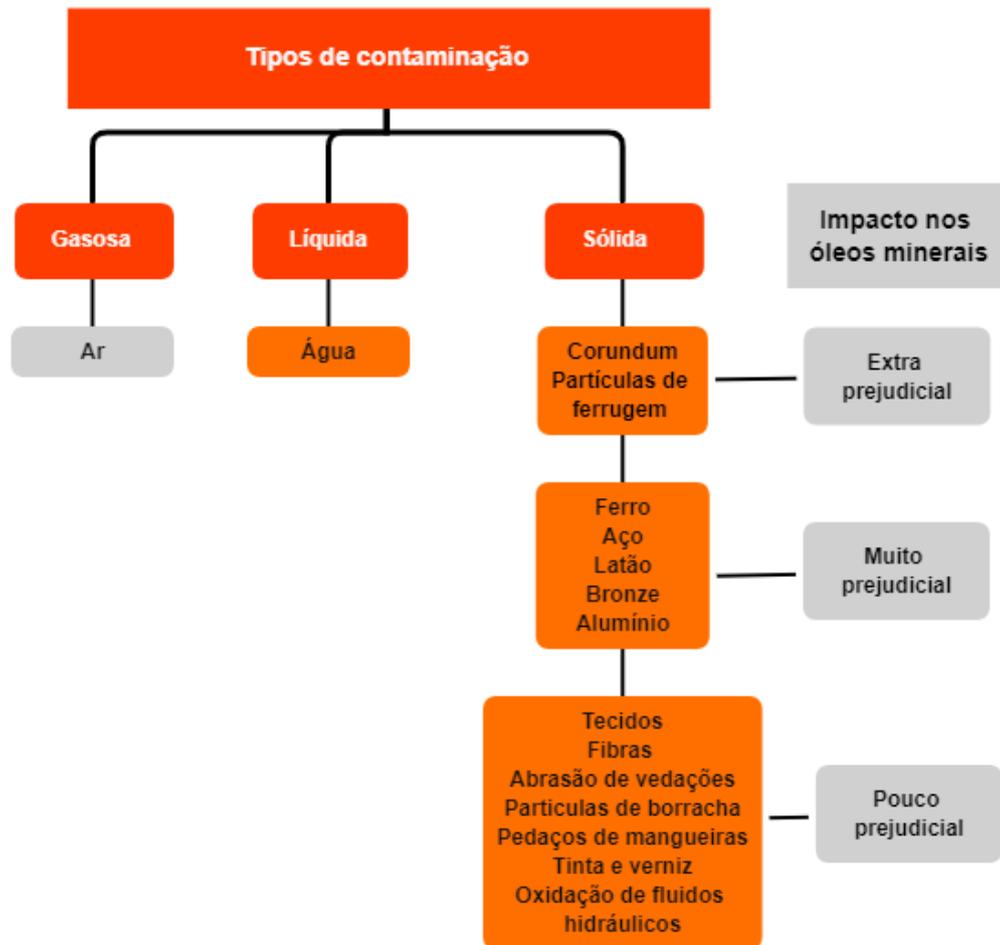


Figura 2: Classificação das contaminações.
Fonte: Adaptado de Magn. (2014), *apud* Andrade (2018).

Dos problemas causados por contaminação no meio operacional, danos aos componentes representam 85% das falhas em sistemas hidráulicos, acarretando perda de produção (tempo de inatividade), custos de substituição de componentes, substituição frequente de fluidos e aumento geral nos custos de manutenção (MANG, 2014, PARKER, 2006, *apud* ANDRADE 2018).

De acordo com Mang (2014), *apud* Andrade (2018), as principais fontes de contaminação estão ligadas à:

- Cuidados na montagem de componentes — onde durante os processos de manufatura podem surgir vários tipos de contaminantes como lascas, areia de moldagem, resíduos, fibras de pano devido a limpeza, solda;
- Contaminação do óleo novo fornecido — quando não se atenta aos padrões do material uma vez que esse não se encontra em condição para todas as aplicações;
- Contaminação operacional — quando partículas abrasivas dos componentes são transportadas por meio do sistema e pode haver a formação de subprodutos químicos a partir da degradação dos lubrificantes;
- Contaminação externa — quando sujeira do meio ambiente pode acessar os sistemas através de dutos de ventilação, respiros, tampas etc.

2.4 FILTRAGEM *OFF-LINE*

O método de filtragem *off-line* estabelece a posição apropriada de instalação como sendo o reservatório, podendo ser do equipamento ou externamente a ele. Esse sistema pode ser combinado com o sistema de enchimento. Isso pode ser executado como um sistema de limpeza quando a bomba principal não está em uso e deve ser funcionado continuamente quando o sistema principal está operando (SUTHERLAND, 2008 *apud* ANDRADE 2018).

De acordo com Andrade (2018), a manutenção do filtro pode ser realizada a qualquer momento sem comprometer o sistema principal. Os elementos filtrantes são fornecidos com um fluxo constante e não efeito das pressões das condições operacionais do sistema principal do equipamento.

2.5 CONTAGEM DE PARTÍCULAS

A contagem de partícula consiste em monitorar o número das partículas de um dado tamanho por volume de fluido. É usada como uma ferramenta de monitoramento preliminar em combinação com outros métodos analíticos, por

exemplo, a ferrografia de leitura direta, que indica só partículas ferrosas do desgaste, diferente da contagem de partículas onde se detectam todas as partículas (LAGO, 2007).

Segundo Lago (2007), a nova ISO 11171 (Organização Internacional de Normas Técnicas) substituiu a ISO 4406 em aceitação da ISO MTD (Teste Médio de pó) como uma substituição da ACFTD. A maioria das versões extensamente usadas dessa norma técnica referem-se ao número de partículas maiores que 4, 6, e 14 micrómetros em 1 mililitro de fluido. O número de partículas 4+ e 6+ são usados como um ponto de referência de partículas. O tamanho 14+ indica a quantidade de partículas grandes presentes, as quais contribuem grandemente para a possível falha catastrófica da máquina.

A Figura 3 e a Tabela 2 representam um exemplo de medida, em que o resultado é obtido por meio de um código ISO.

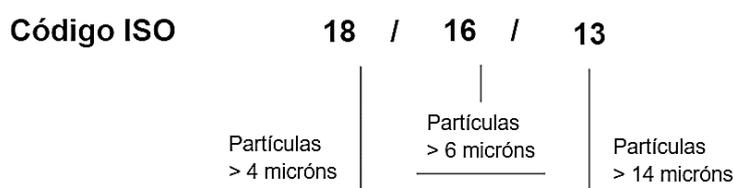


Figura 3: Exemplo de um código ISO.

Fonte: Adaptado de Parker (2000), *apud* Lago (2007).

Tabela 2: Classificação e definição pela ISO.

Número	Mícron	Partícula Real Intervalo de Contagem (por ml)
18	4+	1,300 – 2,500
16	6+	320 - 640
13	14+	40 - 80

Fonte: Adaptado de Parker (2000), *apud* Lago (2007)

3 METODOLOGIA

3.1 ÓLEO

O óleo que foi avaliado é o ISO VG 32 LUBRAX HYDRA XP, utilizado em sistemas hidráulicos. Segundo a norma ISO 4406 para atuadores hidráulicos, deve se ter um óleo com a contagem de partícula 16/14/11. Todavia, para a indústria em que o óleo foi avaliado, a ISO tem que estar com uma contagem de partícula abaixo de 18/16/13.

3.2 SISTEMA DE FILTRAGEM

O sistema de filtragem utilizado foi o *off-line* (esse tipo de filtragem também ganha a denominação “filtragem auxiliar”), este pode ser utilizado em equipamentos operando, reduzindo o tempo de parada para o tratamento do óleo.

É importante ressaltar que o tratamento por sistema de filtragem só é realizado após uma análise do óleo para, assim, poder determinar qual a configuração de filtros deve ser utilizada para conseguir atingir o nível ideal de pureza.

3.3 COMPONENTES DA UNIDADE *OFF-LINE*

Na Figura 4 são destacados os principais componentes da unidade *off-line* de óleo.

1. Magotes
2. Conexões hidráulicas
3. Bomba de engrenagem “Hidráulica Solutions S14”
4. Motor
5. Pré-filtro “para partículas maiores de 250 μm ”
6. Filtro “Donaldson – P165876”
7. Comando elétrico.
8. Carrinho.

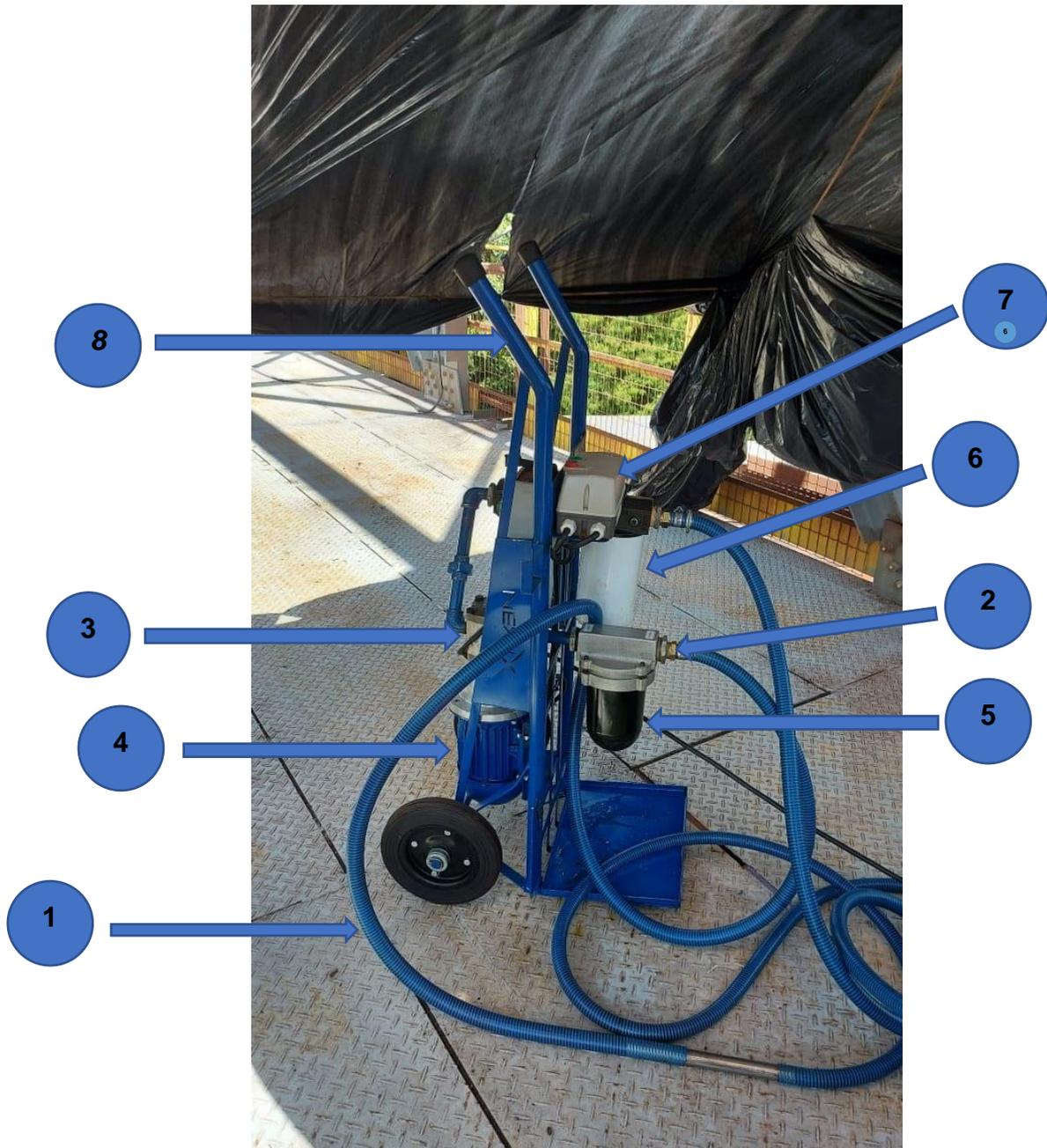


Figura 4: Unidade de filtragem *off-line*
Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

3.4 FILTRO

O filtro hidráulico Donaldson utilizado tem uma razão beta de 1.000 para partículas de 11 μm . A bomba utilizada é Hidráulica Solutions S14 com engrenagem interna com vazão de 14 L/min a 1.000 rpm. Segundo Donaldson (2017), o cálculo de tempo de filtragem é dado pelas Eq. 1 e 2.

$$t_f = (7 * V_r) / Q \quad (1)$$

Em que, t_f é o tempo de filtragem, V_r é o volume do reservatório a ser filtrado e Q a vazão de referência.

Para a filtragem do fluido do óleo isso 32 tem-se que. $V_r = 200$ L e $Q = 14$ L/min.

$$t_f = (7 * 1000)/14 = 57,14 \text{ min} \quad (2)$$

Para fins teóricos foi utilizado um volume de 200 L para os testes.

3.5 COLETA DO ÓLEO

A coleta foi realizada com uma bomba de vácuo manual Figura 5. Este é um dos métodos mais comuns que usa uma bomba de sucção que extrai o óleo por meio da vareta de nível, do bocal de enchimento ou por um ponto de coleta específico. Este método deve ser usado preferencialmente para os sistemas não pressurizados.

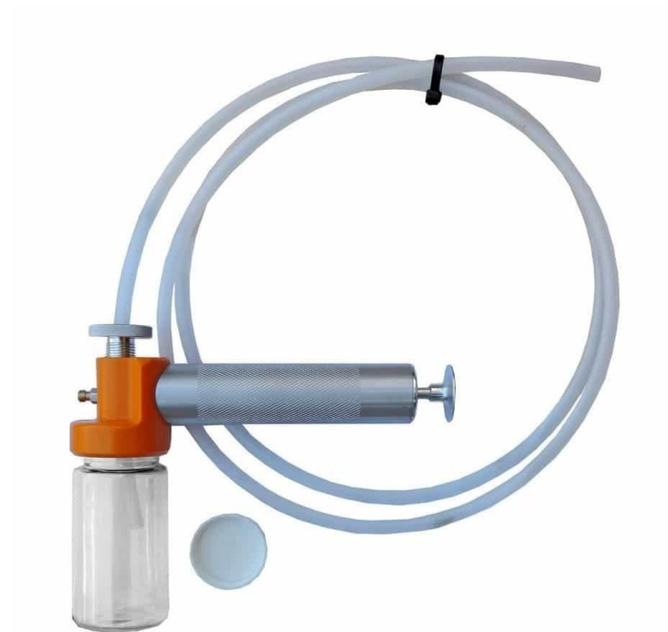


Figura 5: Bomba de vácuo manual para coleta de amostra de óleos.
Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

O procedimento para utilização da bomba a vácuo manual segue a seguinte sequência de ações:

1. Fixar a mangueira, através da bomba de sucção, até atingir a metade do nível de óleo. Não raspar a mangueira no fundo.
2. Instalar um frasco novo na bomba e armazenar em local limpo.
3. Retirar a tampa ou bujão do compartimento, mas, antes disso, cuidar para que a área em volta esteja limpa.
4. Encher o frasco até a faixa de nível indicada. Cuidar para que a bomba de vácuo não seja inclinada e que não haja contato entre o óleo coletado e a bomba. Caso isso ocorra, lavar a bomba com água e sabão neutro e deixar secar.
5. Remover o frasco da bomba e reposicionar a tampa. O frasco tem que estar bem tampado para que não ocorram vazamentos.
6. Descartar a mangueira em local apropriado. Nunca reutilize a mangueira.
7. Registrar as informações na ficha de identificação que acompanha o kit. Todos os campos devem ser preenchidos.
8. Colocar a ficha de identificação, preenchida, juntamente com o frasco de coleta, tampado, dentro do saco *zip lock* e enviar para o laboratório.
9. As amostras devem ser enviadas logo que forem coletadas. Somente dessa forma, a análise terá sua eficácia esperada.

A coleta inicial foi realizada no dia 03/11/2020 e enviada para a análise. Após receber os dados desta coleta foi realizado o tratamento do óleo e enviado uma segunda amostra dele para análise no mesmo laboratório no dia 26/03/2021.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 TESTE REALIZADO

Os testes foram realizados por um laboratório credenciado, para verificar o desempenho para unidade de filtração *off-line*, utilizando a contagem de partícula para esta validação, como pode ser visto no laudo apresentado na Figura 7.

O laudo tem vários pontos importantes como a viscosidade, teor de água e contagem de partícula que é o ponto focal do trabalho.

Viscosidade e a resistência em que o fluido tem de escorar a uma certa temperatura para o óleo ISO VG 32 LUBRAX HYDRA XP tem um limite de viscosidade de 28,8 a 35,2 a uma temperatura de 40 °C.

Teor de água e a quantidade de partículas de água que encontrasse na amostra do óleo em PPM “partícula por milhão”, o ponto de saturação para o fluido hidráulico de 300 PPM.

A contagem de partícula é para definir quais os tamanhos das partículas que estão suspensas no óleo, pois elas, circulando no meio do fluido, em alta velocidade, podem danificar os componentes do sistema. Para ISO 4406, são avaliados os de 4 µm; 6 µm; 14 µm. O laudo tem outras micragens , mas não foram utilizadas para este teste.

A Figura 6 mostra o tamanho de alguns materiais em micron.

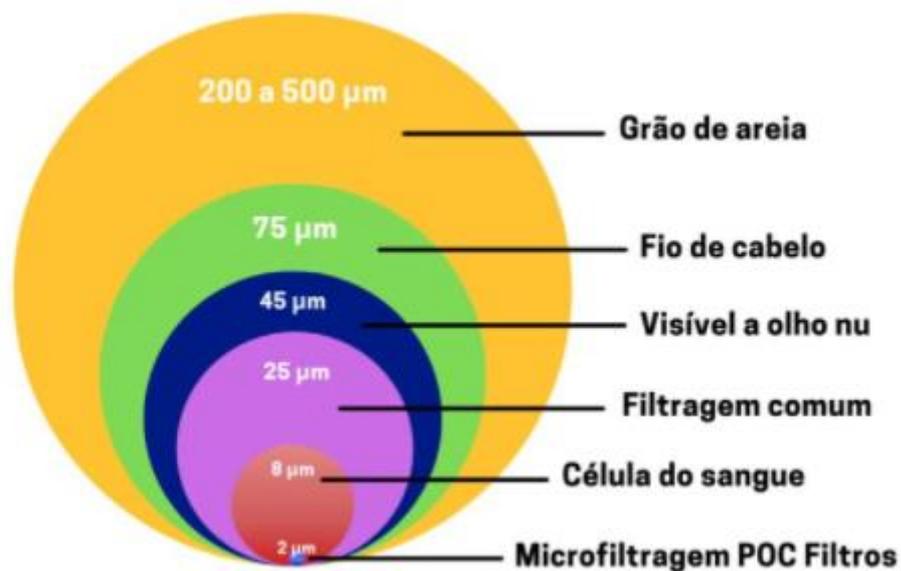


Figura 6: Materiais em micron.
Fonte: Pocfiltros.

engeoil		PROJETISTA II	M0302HD-M-6RT002	rev. 1	página nº 2
Anormal					
engeoil		Nº do Laudo: 67727/23	Data do Laudo: 05/05/2021	Nº da Amostra: 382	
		Empresa: [REDACTED]			Nº Contrato: 4600002853
		Local: MINERODUTO	MINERODUTO	[REDACTED]	
Informações do Equipamento			Informações do Compartimento		
Equipamento:	UNIDADE HIDRÁULICA		Compartimento:	UNIDADE HIDRÁULICA	
Fabricante:	SHAFER		Fabricante:	SHAFER	
Modelo:	NÃO INFORMADO		Modelo:	NÃO INFORMADO	
TAG:	M03-02HD002		Óleo Testado:	32	Volume: 1200,0
Dados da Amostra e Ensaio		Amostra Atual	Histórico de Ensaio		
Informações da Amostra	Número do Laudo	67727/23	67366/58		
	Status do Laudo	Anormal	Anormal		
	Data do Laudo	05/05/2021	26/11/2020		
	Data da Coleta	26/03/2021	03/11/2020		
	Óleo Testado	32	32		
	Horas Totais do Equipamento	N. Informado	N. Informado		
	Horas Última Manutenção	N. Informado	N. Informado		
Avaliação dos Resultados	Horas de Uso do Óleo	N. Informado	N. Informado		
	Avaliação de Contaminação	Anormal	Anormal		
	Avaliação do Equipamento	Normal	Normal		
Físico-Químico	Avaliação do Óleo	Normal	Normal		
	Visual - Aspecto e cor	Aparência e cor normal de óleo usado	Aparência e cor normal de óleo usado		
	Viscosidade 40°C [cSt]	31	31		
	TAN [mg KOH/g]	0,5	0,6		
	TBN [mg KOH/g]	-	-		
Água	Insolúveis ao Pentano [%]	0,06	0,12		
	Teor de Água [%]	0,02	0,06		
Contagem de partículas	Teor de Água [ppm]	245,5	554,0		
	4 µm	272943	385910		
	6 µm	46985	213703		
	10 µm	5187	69016		
	14 µm	1353	22918		
	21 µm	216	4249		
	25 µm	64	1691		
	38 µm	12	398		
70 µm	7	181			

Figura 7: Laudo Engeoil.
Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

4.2 AMOSTRA

A primeira amostra coletada no dia 03/11/20 e teve o objetivo de mostrar a real situação do óleo que está nos equipamentos e, assim, determinar qual o melhor método de tratamento para esse óleo.

O equipamento em que o óleo é utilizado tem os quatro primeiros componentes no seu sistema. Para a ISSO, ele teria que estar com uma contagem de partícula abaixo de 16/14/11, como visto na Figura 8. A empresa proprietária do equipamento estabelece que o óleo deve ficar menor ou igual a ISO 18/16/13. A

segunda amostra foi coletada no dia 26/03/21 para poder determinar se a filtragem do óleo atingiu os parâmetros exigidos pela empresa.

Limpeza do Fluido Requerida para Tópicos Componentes Hidráulicos	
Componentes	Código ISO
Controle de servo válvulas	16/14/11
Válvulas proporcionais	17/15/12
Bombas/motores de palheta e pistão	18/16/13
Válvulas de controle direcional e pressão	18/16/13
Bombas de engrenagem s/ motores	19/17/14
Válvulas de controle de fluxo, cilindros	20/18/15
Fluido novo não usado	20/18/15

Figura 8: Limpeza do fluido requerida para tópicos componentes hidráulicos.
Fonte: Manual de filtragem hidráulica.

Na Tabela 3, são apresentados os resultados das duas amostras enviadas para o laboratório. Para a norma ISO só se utiliza as faixas de > 4 µm, > 6 µm e > 14 µm.

Tabela 3: Dados das amostras de óleo contagem de partícula.

Faixa de partícula	4 µm	6 µm	10 µm	14 µm	21 µm	25 µm	38 µm	70 µm
1ª Contagem	385.910	213.703	69.016	22.918	4.249	1.691	398	181
2ª Contagem	272.843	46.985	5.187	1.353	216	64	12	7

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

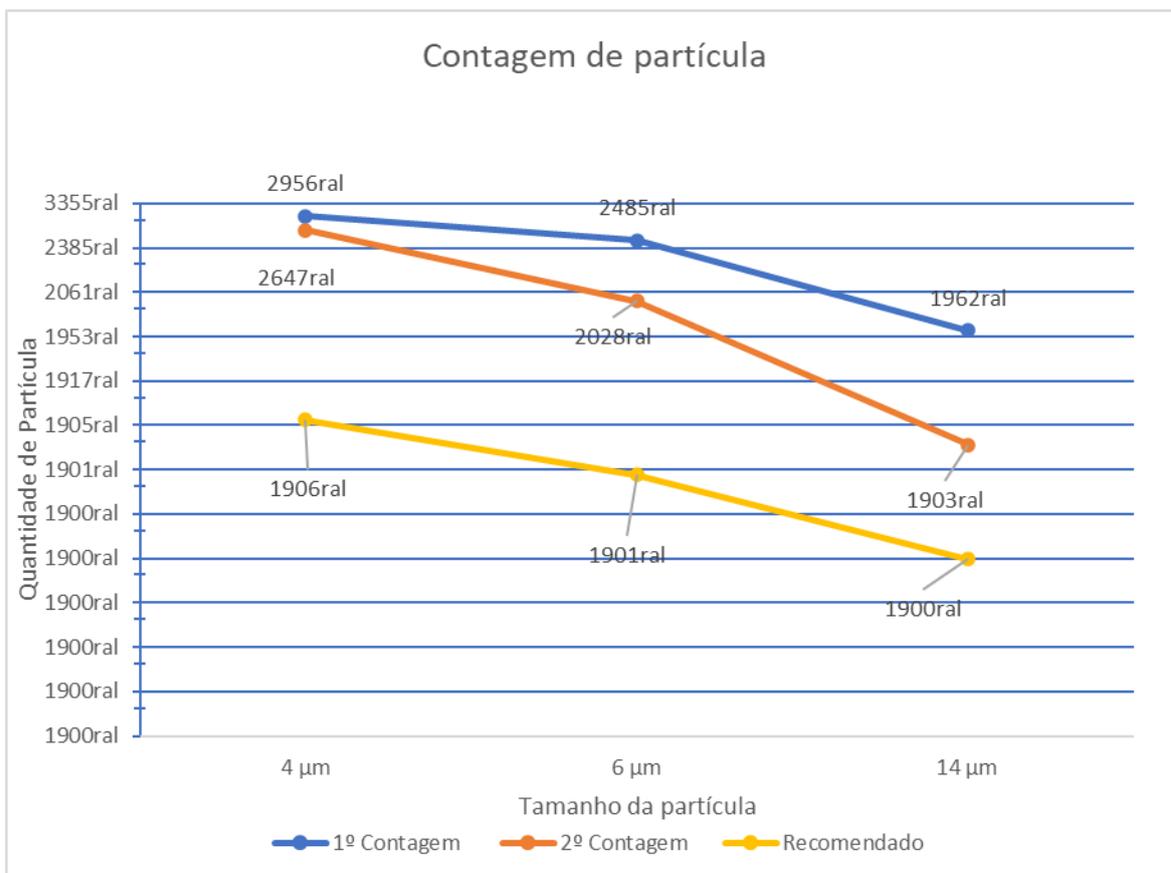


Figura 9: Gráfico para ilustrar os resultados da contagem de partículas.
Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Para uma a escala de 4 µm, houve uma redução de 29,9% das partículas; para a escala de 6 µm houve uma redução de 78,01% e para a escala de 14 µm houve uma redução de 94,09%. E, assim, a obtenção da porcentagem global de remoção dos particulados da primeira amostra para a segunda que foi de 67,33% total das partículas encontradas em suspensão no óleo. Para atingir o resultado esperado, deveria ter havido uma eficiência superior a 99,7% nas três faixas de partículas.

A ISO 4406 especifica as seguintes faixas de tamanho de partículas para o método de contagem óptica e de: > 4 µm; > 6 µm; >14 µm. Para determinar qual a ISO do óleo, devem-se comparar os resultados obtidos da contagem de partículas com a Tabela 4.

Tabela 4: Atribuição de Números de Escala.

Atribuição de Número de Escala		
Nº de Partícula por mililitro(ml)		Nº da Escala ISO
Mais de	Até (inclusive)	
2.500.000		>28
1.300.000	2.500.000	28
640.000	1.300.000	27
320.000	640.000	26
160.000	320.000	25
80.000	160.000	24
40.000	80.000	23
20.00	40.000	22
10.000	20.000	21
5.000	10.000	20
2.500	5.000	19
1.300	2.500	18
640	1.300	17
320	640	16
160	320	15
80	160	14
40	80	13
20	40	12
10	20	11
5	10	10
2,5	5	9
1,3	2,5	8
0,64	1,3	7
0,32	0,64	6
0,16	0,32	5
0,08	0,16	4
0,04	0,08	3
0,02	0,04	2
0,01	0,02	1
0	0,01	0

Fonte: Manual de filtragem hidráulica.

Assim, pode-se determinar em que grau de contaminação do óleo esperado ou intolerável:

1ª amostra está com 26/25/22

385.910 > 4 µm

213.703 > 6 µm

22.918 > 14 µm

2ª amostra está com 25/23/18

272.843 > 4 µm

46.985 > 6 µm

1.353 > 14 µm

Como pode ser visto na 1ª amostra, a classificação ISO está em 26/25/22, indicando que óleo está impróprio para a utilização. Indica-se, portanto, a micro filtragem para a remoção das partículas contaminantes presentes nele.

Foi realizada a micro filtragem do fluido utilizando uma unidade de filtragem *off-line* equipada com um filtro “Donaldson – P165876” com a micra de 11 µm. Para este teste, foi coletada a 2ª amostra e enviada para o laboratório e nela obteve-se uma classificação ISO de 25/23/18.

Para o equipamento em que o óleo é aplicado, não é o ideal pois os componentes dispostos neles requerem um nível de pureza mais elevado, que é uma exigência da empresa que esteja com a classificação ISO menor ou igual a 18/16/13.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após as análises dos dados foi possível concluir que a unidade de filtragem não atendeu aos parâmetros de limpeza para o óleo. Como pôde ser visto, o óleo, que estava com uma contagem de partícula de 26/25/22 após a filtragem, obteve uma remoção mais expressiva em duas faixas de partículas de 6 µm e 14 µm. Assim, pode-se concluir que o filtro “Donaldson – P165876” teve um melhor desempenho em partículas maiores. A segunda análise foi de (25/23/18), porém a unidade de filtragem *off-line* não atendeu aos parâmetros de limpeza exigidos pela empresa que seria de 18/16/13.

Diante do exposto, faz se necessária a realização da compra de uma outra unidade de filtragem *off-line*. Assim, atende-se aos parâmetros limpeza requeridos

pelo equipamento. Com a implantação de uma unidade off-line eficiente, poderia ser aumentada a vida útil dos componentes dos equipamentos e promover a redução com os gastos com manutenções corretivas e nas compras de óleo hidráulicos e lubrificantes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, V. M. **Desenvolvimento de uma unidade de filtragem de lubrificantes**. 2018. 45 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2018.

DONALDSON, Campana Inc. **Hudraulic Filtration Product Guide**. Catalog no f112100 eng (1/17). [S.L]: Donaldson Company, Inc. Minnerapolis, MN, 2017

EATON. **Unidades de filtro off-line**. Eaton, 2017. Disponível em: <http://www.eaton.com.br/EatonBR/ProductsSolutions/Filtration/Filtros_de_%C3%B3leo_hidr%C3%A1ulicos_e_de_lubrifica%C3%A7%C3%A3o/Sistemas_hidr%C3%A1ulicos_e_de_lubrifica%C3%A7%C3%A3o/Unidades_de_filtro_off-line/index.htm>. Acesso em: 05, maio e 2021.

FITCH, J. **Não se esqueça da criticidade do lubrificante ao projetar programas de análise de óleo**. Machinerylubrication, 2014. Disponível em: <<https://www.machinerylubrication.com/Read/29696/designing-lubricant-criticality>>. Acesso em: 05 de abril de 2021.

ISO 11171, 1999, “**Hydraulic Fluid Power – Calibration of automatic particle counters for liquids**”.

ISO 4406, 1999, “**Hydraulic Fluid Power – Fluids – Method for coding the level of contamination by solid particles**”.

LAGO, D. F. **Manutenção de redutores de velocidade pela integração das técnicas preditivas de análise de vibrações e análise de óleo lubrificante**, Ilha Solteira, Departamento de Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Unesp. 154p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica)2007.

LAZZAROTTO, J. **Viscosidade de óleos lubrificantes**. BetaEQ, 2020. Disponível em: <<https://betaeq.com.br/2020/06/03/viscosidade-de-oleos-lubrificantes/>>. Acesso em: 05 de abril de 2021.

LEME, B. C. C. **Desenvolvimento de uma ferramenta open-source para a classificação e contagem de partículas em óleos industriais**. São Paulo, Universidade de Taubaté, 2016.

LUBRAX. **Catálogo de produtos**. [S.I.]: PETROBRAS, 2011.

MANG, T. **Encyclopedia of Lubricants and Lubrication**. [S.I.]: Springer, 2014.

OLIVEIRA, M. G. de. **Manual da Filtração Industrial**. 2ª edição. São Paulo: Artliber Editora: 2013.

PARKER, H. **Parker Filtration's Handbook of Hydraulic Filtration**. 1. ed. [S.I.]: Parker Hannifin Corporation, 2006.

PARKER. **The handbook of hydraulic filtration**. Metamora: Parker, 2000. p 12-19.

SUTHERLAND, K. **Filters and Filtration Handbook**. [S.I.]: Elsevier, 2008.

WEIDLICH, F. **Avaliação da lubrificação de rolamentos de motores elétricos por ultrassom**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/17638>>. Acesso em: 15, maio e 2021.

GERAÇÃO DE ENERGIA ELETRÍCA ATRAVÉS DA BIOMASSA DE DEJETO SUÍNO

Acadêmicos: Marcos Tadeu Lopes da Silva e Paulo Henrique Martins Moreira
Orientador: Mateus Zanirate de Miranda

Entre as soluções tecnológicas para o tratamento dos dejetos suínos, destaca-se a biodigestão, que consiste em um processo fermentativo anaeróbico realizado por microrganismos e ocorrido através da degradação da biomassa, que tem como subprodutos o biofertilizante e o biogás, podendo este último ser convertido em energia. O biogás, oriundo da degradação da biomassa, é um vantajoso gerador de energia, visto que possui elevado conteúdo energético, podendo ser renovável e produzido em qualquer local que disponha de biomassa. Neste estudo, foram avaliados, do ponto de vista econômico, dois conjuntos de motor-gerador movidos por biogás. No primeiro sistema, utiliza-se um motor Scania, modelo OC16, com potência de 525 kVA, multiplicando esse valor por 0,8 obtêm-se o valor em kW. No segundo sistema, foram utilizados quatro motores MWM, modelo 4.12TCEG-G3, com potência de 135 kVA cada. A partir da realização da presente pesquisa, foi possível verificar que o sistema de geração de energia a biogás com motor SCANIA OC16 começa a gerar lucros a partir do quarto mês, e o sistema com quatro motores MWM 4.12TCEG-G3, a partir do sétimo mês.

PALAVRAS-CHAVE: Energia Renovável; Impacto Ambiental; Transformação de Energia; Biogás.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos tempos, a ação humana tem provocado diversos danos ao meio ambiente, bem como exploração de recursos naturais, poluição atmosférica e degradação do solo e da água, além do acúmulo de passivos ambientais em todos os setores produtivos, acarretando o aumento da geração de resíduos (ALMEIDA, 2016).

A suinocultura é um dos setores contribuintes para a geração de resíduos poluidores devido ao grande volume de dejetos produzidos, sendo uma das principais emissoras de Gases de Efeito Estufa (GEE). Contudo, atualmente, a produção brasileira de suínos realizou a introdução de novas tecnologias voltadas para a redução do potencial poluidor dos dejetos gerados e para o aproveitamento econômico dos mesmos (LEITÃO; SILVA, 2018).

Entre as soluções tecnológicas para o tratamento desses dejetos, destaca-se a biodigestão, que consiste em um processo fermentativo anaeróbico realizado por microrganismos e ocorrido através da degradação da biomassa, que tem como

subprodutos o biofertilizante e o biogás, podendo este último ser convertido em energia (LEITÃO; DIAS; BRISOLA, 2020).

Estudos indicam que os gastos com energia elétrica em sistemas de criação de suínos correspondem a aproximadamente 3,98% dos custos totais de produção. Nesse sentido, torna-se necessário minimizar os impactos ambientais, além de estimular a diversificação da matriz energética, com o objetivo de utilizar fontes renováveis e promover o uso racional dos recursos escassos (FASSINA, 2020).

Dessa forma, devido à facilidade de acesso, iniciou-se a utilização de biomassa como fonte de energia e os proprietários de suinoculturas começaram a investir em geração própria de energia. Entretanto, para que o processo seja economicamente viável, são necessárias matérias-primas de baixo valor econômico, como, por exemplo, o substrato (ALMEIDA, 2016).

O biogás, oriundo da degradação da biomassa, é um vantajoso gerador de energia, visto que possui elevado conteúdo energético, podendo ser renovável e produzido em qualquer local que disponha de biomassa. A conversão de energia por meio do biogás pode ocorrer por meio do processo de combustão direta ou através de sua utilização como combustível em motores geradores (TOMASI, 2019).

Os motores de combustão interna, também denominados como ciclo Otto, são frequentemente utilizados para a queima do biogás, visto que apresentam benefícios econômicos, tais como a produção própria de energia para consumo e a possibilidade de renda extra através da venda da energia excedente (RUEDIGER, 2017).

Com a crescente demanda de novos métodos de obtenção de energia renovável, faz-se necessário estudar a geração de energia através do biogás, uma vez que esse método é vantajoso nos quesitos econômicos e sustentáveis (preservação do meio ambiente).

Diante do exposto, na presente pesquisa, objetiva-se realizar um comparativo econômico de gastos entre dois sistemas de geração de energia a partir do biogás, visando identificar o melhor custo-benefício.

Pretende-se que este estudo produza dados acerca da implantação do sistema de produção de energia através do biogás na região, de forma a auxiliar interessados na montagem de sistemas semelhantes, contribuindo, assim, para a

mitigação de alguns problemas econômicos e ambientais gerados por essa atividade.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. SETOR ENERGÉTICO BRASILEIRO

Recursos energéticos são definidos como os recursos ou fluxos de energia encontrados na natureza que podem ser aproveitados para a obtenção de energia, sendo classificados como recursos fósseis ou recursos renováveis (CAMPOS, 2016).

Os recursos fósseis, ou recursos não renováveis, são aqueles que se apresentam em quantidade limitada, destacando-se o petróleo, o gás natural e o carvão mineral. A geração de energia a partir dessas fontes contribui para o aumento do efeito estufa e do aquecimento global (FRANÇA, 2018).

Já os recursos renováveis são aqueles obtidos por fluxos naturais, como, por exemplo, energia eólica, energia hidráulica, biomassa, energia solar, energia do mar e energia geotérmica. A utilização dessas fontes de energia apresenta vantagem em relação aos recursos fósseis, visto que reduz o impacto ambiental e reutiliza a matéria-prima (NASCIMENTO; ALVES, 2016).

A matriz energética consiste em recursos energéticos dispostos em uma determinada região, podendo ser utilizada como base para a elaboração do setor energético (LOPES; MARTINS; MIRANDA, 2019).

O Brasil é um país favorecido quanto ao aspecto energético, uma vez que sua hidrografia, relevo e clima tropical possibilitam o aproveitamento das várias fontes renováveis de energia, bem como a biomassa, hidráulica, solar e eólica (PINTO; MARTINS; PEREIRA, 2017).

Entretanto, deve-se atentar quanto à utilização inadequada de alguns recursos energéticos renováveis, que pode acarretar a exaustão dos mesmos, como ocorre com os recursos de biomassa, quando utilizados além de sua capacidade natural de reposição (FARIAS, 2017).

É possível verificar que aproximadamente 46% dos recursos brasileiros são provenientes de recursos renováveis, destacando-se três categorias:

hidroeletricidade, lenha e carvão vegetal e derivados da cana-de-açúcar. Logo, percebe-se que no Brasil não há uma elevada diversificação de fontes de energias renováveis. A geração de energia a partir do biogás, juntamente com outras tecnologias, corresponde a 7% dos recursos renováveis do país (PATUSCO *et al.*, 2020).

2.2. BIOMASSA COMO FONTE RENOVÁVEL DE ENERGIA

Do ponto de vista energético, é definida como biomassa toda a matéria orgânica, vegetal ou animal que pode ser utilizada na produção de energia, a qual pode ser obtida através da decomposição de diversos recursos renováveis, bem como plantas, resíduos agrícolas, madeira, restos alimentares, excrementos humanos e animais e até mesmo lixo (NEDEL *et al.*, 2018; LEITE, 2019).

Classifica-se como dejetos suíno o composto de fezes e de urinas dos porcos, resíduos de rações em comedouros, e excesso de água de bebedouros usada para a limpeza das baias, pelos e poeira das instalações (SEABRA JÚNIOR; POZZO; SANTOS, 2017).

Os dejetos produzidos na suinocultura constituem uma biomassa residual de elevada carga orgânica, mas com risco eminente para impactos ambientais negativos, sobretudo se não forem geridos adequadamente, podendo ocasionar poluição do ar, solo e água (BÜHRING; SILVEIRA, 2016).

As características físico-químicas dos dejetos suínos estão diretamente associadas à alimentação e ao sistema de manejo dos animais, sendo que a quantidade de nutrientes nos dejetos suínos se altera conforme os seguintes fatores - idade do animal, métodos de produção, temperatura, gestão dos resíduos, teor de umidade, ração, entre outros (NUNES, 2018).

A digestão anaeróbica da biomassa tem sido utilizada mundialmente como fonte alternativa de energia, sendo avaliada como uma das tecnologias mais eficazes para a produção energia e minimização dos impactos ambientais (BÜHRING; SILVEIRA, 2016).

A execução de todas as atividades no agronegócio requer energia, o que torna relevante o aproveitamento da energia proveniente dos resíduos produzidos no local, uma vez que o produtor pode se beneficiar economicamente, além de

contribuir para a redução de impactos ambientais através da realização do manejo correto dos resíduos gerados (REZENDE, 2017).

2.3. BIODIGESTOR

A alta concentração de sistemas de criação de suínos, bovinos e aves está relacionada a intensas necessidades energéticas e de tratamento dos resíduos gerados, surgindo a necessidade de tecnologias que cumpram essas funções. O biodigestor é entendido como uma fábrica de fertilizantes, um poço de petróleo e uma usina de saneamento, unidos em um equipamento, uma vez que, além de produzir o biogás, limpa os resíduos não aproveitáveis de uma propriedade e gera biofertilizante (MORAIS, 2017).

O biodigestor é uma câmara onde ocorre um processo bioquímico definido como digestão anaeróbica, no qual a biomassa é fermentada por bactérias sem a presença de oxigênio, gerando a liberação de biogás e a produção de biofertilizante (MESSA *et al.*, 2016).

Associa-se o êxito no processo de biodigestão ao controle dos parâmetros temperatura, agitação, pH, quantidade de oxigênio existente no meio, entre outros fatores. Quando o processo é operado de forma correta, a temperatura acelera a decomposição da biomassa, uma vez que, para maiores temperaturas, há a maior produção de biogás (FRANZON, 2020).

Após várias pesquisas e a descoberta do gás metano gerado a partir da decomposição de restos vegetais confinados, foi criado, em Kampur, na Índia, o *Institute Gobár Gás* (Instituto de Gás de Esterco), onde foi construída a primeira usina de gás de esterco que visava realizar o tratamento dos dejetos animais, obter biogás e aproveitar o biofertilizante, difundindo, assim, o uso dos biodigestores (MORAIS, 2017).

Existem vários tipos de biodigestores em todo o mundo, sendo classificados em dois tipos: os biodigestores de alimentação contínua e os de alimentação intermitente ou batelada. Os biodigestores de alimentação contínua recebem a carga de biomassa de tempo em tempo, sendo os mais utilizados mundialmente devido à simplicidade e praticidade, já os biodigestores de alimentação intermitente ou

batelada são carregados com toda a biomassa, que fica retida até o final do processo de biodegradação (ARAÚJO, 2017).

Entre os biodigestores de alimentação contínua mais utilizados no Brasil, estão modelos indianos, chineses e tubulares, também conhecido como *plug-flow*. O modelo indiano é caracterizado por possuir um dispositivo na parte superior do sistema, que funciona como gasômetro, onde o gás produzido se acumula e as perdas durante a produção de gás são reduzidas. Nesse modelo, a pressão é constante e o gás produzido não é consumido imediatamente, uma vez que o gasômetro mantém constante a pressão interior por se movimentar verticalmente (NAZARO, 2016). Na Figura 01, apresenta-se um modelo de biodigestor do tipo indiano.

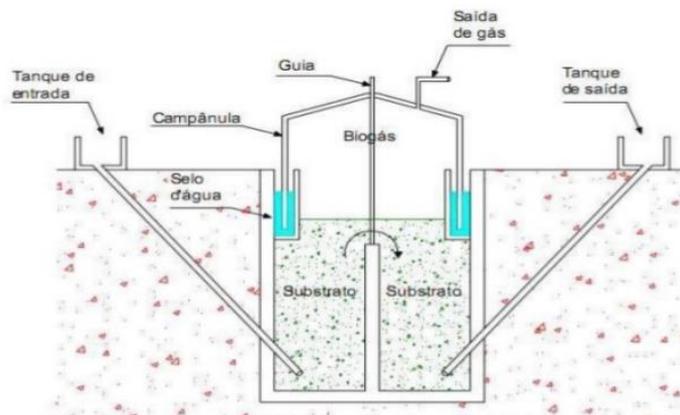


Figura 1: Representação de Biodigestor Modelo Indiano.

Fonte: Araújo (2017).

O modelo chinês é formado por uma câmara cilíndrica de tijolos para fermentação e possui teto impermeável para armazenamento do biogás. Apesar de dispensar o uso de um gasômetro, nesse modelo, podem haver problemas com vazamentos do biogás, se a vedação não estiver adequada. Ainda assim, uma parcela do biogás formado na caixa de saída é liberada na atmosfera, motivo pelo qual esse tipo de equipamento não deve ser utilizado em instalações de grande porte. Tal modelo atua em pressões superiores à atmosfera para realizar o processo (FRANZON, 2020). Na Figura 02, exibe-se um modelo biodigestor chinês.



Figura 2: Representação de Modelo Biodigestor Chinês.
Fonte: Stockmanns (2017).

O modelo tubular, também chamado de *plug-flow* ou de fluxo em pistão, é retangular, longo e construído abaixo do nível do solo (Figura 3).

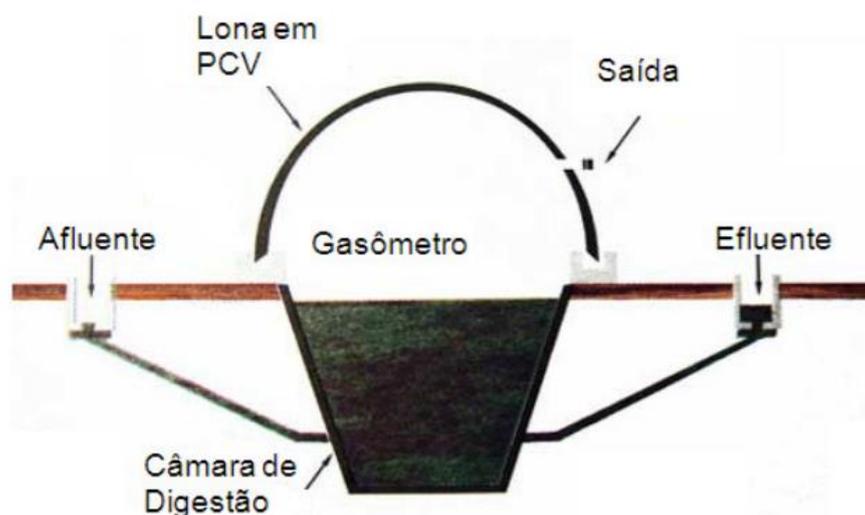


Figura 3: Representação de um Modelo de Biodigestor Tubular em uma granja suinícola.
Fonte: EMBRAPA (2011).

Nesse modelo, a biomassa possui entrada contínua em uma das extremidades do biodigestor, atravessa o mesmo e é descarregada na outra extremidade. Esse modelo é preferencialmente escolhido em situações onde o fluxo

de dejetos diários é alto, uma vez que o biodigestor tubular pode armazenar uma elevada quantidade de biogás (CÔRTEZ; ROCHA; CÔRTEZ, 2019).

2.4. BIOGÁS

Biogás é um gás bruto proveniente da decomposição de resíduos orgânicos. Sua composição é basicamente dióxido de carbônico (CO_2), metano (CH_4) e outros gases como hidrogênio, nitrogênio, ácido sulfídrico, amônia, aminas voláteis, oxigênio e monóxido de carbono (COLUNA, 2016).

A substância é produzida a partir de biodigestores, que são câmaras que realizam a fermentação anaeróbica da matéria orgânica, podendo ser construídos de tijolo, pedra e campânula de ferro (GONZAGA; BARBOSA, 2016).

No Brasil, o biogás é uma das opções para promoção da diversificação no fornecimento de energia elétrica, constituindo alternativa vantajosa financeiramente, por ser capaz de produzir energia para suprir as necessidades da própria propriedade e ainda gerar energia excedente para venda (BUBICZ, 2016).

Entre os fatores relacionados ao prolongamento do tempo de produção do biogás, destaca-se a temperatura da biomassa dentro do biodigestor, o que torna benéfico o biodigestor do tipo tubular, que recebe maior incidência solar; quanto à composição do resíduo, Vaz (2019) explica que quanto maior a concentração de material orgânico, maior a quantidade de biogás gerado; já a maior quantidade de umidade do resíduo favorece o aumento da taxa de produção; o pH e o tamanho das partículas do resíduo devem ser menores, para facilitar a decomposição (VAZ, 2019).

Todavia, deve-se atentar para o potencial poluidor que o biogás apresenta caso seja lançado na atmosfera sem tratamento, pois possui em sua composição uma quantidade elevada de metano, que por sua vez contribui para o efeito estufa global. A partir dessa perspectiva, tem-se que a forma de utilização do biogás menos nociva ao ambiente é por meio da queima direta (COLUNA, 2016).

2.5. CONJUNTO MOTOR-GERADOR

Entre as tecnologias existentes de conversão de biogás em energia elétrica, destaca-se o uso de geradores acoplados a motores de combustão interna, dado que apresentam baixo custo de implantação e facilidade na obtenção de mão de obra e manutenção (SOUZA, 2020).

Os motores de combustão interna recebem essa denominação por realizarem a queima de uma mistura de vapor e combustível dentro de um cilindro e são utilizados para transformar em energia mecânica a energia química presente em combustíveis através da combustão interna. Após esse processo, esses motores são acoplados a geradores, que transformam a energia mecânica em energia elétrica (VANE, 2016).

A escolha do combustível é apontada como uma das principais entre as diversas variáveis existentes, no que se refere ao processo de implantação de sistemas de cogeração, sendo comprovada a eficácia da utilização do biogás em motores de combustão interna (XAVIER, 2016).

2.6. ANÁLISE DE INVESTIMENTO

Passaglia, Santos e Guidini (2019) asseguram que os sucessos e os fracassos de um projeto são definidos a partir da gestão financeira, devendo, primordialmente, a ideia de investimento estar alinhada aos objetivos almejados pelo investidor. Somente assim poderá ocorrer a realização do projeto de análise de investimento.

A avaliação financeira de um projeto visa investigar as fontes de geração de valor dos investimentos realizados, devendo as decisões de investimento estar baseadas na premissa de criação de riqueza aos investidores e partes interessadas, logo, o retorno financeiro deve ser maior que o investimento inicial no negócio (NUNES, 2017).

A geração de energia através do biogás tem elevado potencial para sucesso, entretanto, esse processo sofre desvantagens quando comparado à produção de energia utilizando outras fontes, sobretudo no que se refere aos custos de produção, pois a necessidade de importação de equipamentos para o aproveitamento energético do biogás, trazidos de países desenvolvidos, contribui para a elevação

dos custos do produto final ou do equipamento a ser comercializado (MACHADO, 2019).

Tomasi (2019) postula que os custos com as compras dos equipamentos e com a manutenção dos mesmos são determinantes para a viabilidade do projeto. Esta, por sua vez, requer o levantamento das receitas, do custo operacional e do custo de investimento, sendo este último baseado nas aquisições realizadas para o projeto e são compostos por material, mão de obra e equipamentos (CABRAL *et al.*, 2017).

3. METODOLOGIA

Trata-se de uma pesquisa quantitativa com abordagem descritiva, sendo realizado um comparativo do ponto de vista econômico da implantação do sistema de produção de energia a partir do biogás.

Sobre a pesquisa quantitativa, Kauark, Manhães e Medeiros (2010) afirmam que a mesma considera o que pode ser quantificável, ao traduzir em números opiniões e informações para analisá-las e classificá-las, requerendo o uso de recursos e de técnicas estatísticas.

De acordo com Gil (2002), o objetivo primordial das pesquisas descritivas é a descrição das características de determinada população ou fenômeno, estabelecendo relações entre as variáveis e definindo sua natureza.

Neste estudo, foram avaliados do ponto de vista econômico dois conjuntos de motor-gerador movidos por biogás. O primeiro sistema emprega um motor Scania, modelo OC16, com potência de 525 kVA. No segundo sistema, foram utilizados quatro motores MWM, modelo 4.12TCEG-G3, com potência de 135 kVA cada.

Dessa forma, realiza-se a comparação dos dois conjuntos, sob os seguintes quesitos:

- Potência;
- Preço;
- Consumo;
- Prazo de Retorno do Investimento (PRI);
- Manutenção Básica.

Os dados para cálculo foram retirados do site e de documentos disponibilizados pelas empresas fabricantes. Os dados de taxas energéticas foram retirados diretamente de tabelas disponibilizadas pela empresa CEMIG, tendo em mente que este trabalho visa realizar a simulação para um produtor rural. Além disso, preço de óleos lubrificantes e Filtros foram cotados conforme os preços encontrados na internet, de forma geral.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Tabelas 01, 02 e 03, a seguir, apresentam-se os principais dados utilizados nas comparações realizadas.

Tabela 01: Tabela tarifária da empresa CEMIG

B2 – RURAL	BANDEIRA VERDE – CONSUMO R\$/KWH	BANDEIRA AMARELA – CONSUMO R\$/KWH	BANDEIRA VERMELHA 1 – CONSUMO R\$/KWH	BANDEIRA VERMELHA 2 – CONSUMO R\$/KWH	BANDEIRA ESCASSEZ HÍDRICA – CONSUMO R\$/KWH
Normal (Consumo R\$/kWh)	0,543880	0,562620	0,583590	0,638800	0,685880
Rural - Vale Jequitinhonha - (Irrigação noturna) - 73% de desconto (Consumo R\$/kWh)	0,146848	0,165588	0,186558	0,241768	0,288848
Rural - Demais Regiões - (Irrigação noturna) - 67% de desconto (Consumo R\$/kWh)	0,179480	0,198220	0,219190	0,274400	0,321480

Fonte: Adaptado de CEMIG (2021).

Tabela 02: Tabela de especificações do Conjunto Scania OC16

Especificações do Motor	Unidade	Descrições
Modelo	-	OC16
Fabricante	-	SCANIA
Aplicação	-	Estacionário
Rotação	rpm	1800
Especificação de óleo Lubrificante	-	SAE 15W40 / ACEA E6, E9 ou API CJ4
Cap.de lts de óleo Lubrificante com filtro	L	48,0
Interv. para Subst. de óleo e Filtro Lubrificante	H	500,0

Fonte: Adaptado de MWM GERADORES (2021).

Tabela 03: Tabela de especificações do conjunto MWM 4.12TCEG-G3

Especificações do Motor	Unidade	Descrições
Modelo	-	4.12TCEG-G3
Fabricante	-	MWM
Aplicação	-	Estacionário
Rotação	rpm	1800
Especificação de óleo Lubrificante	-	SAE 15W40 / ACEA E6, E9 ou API CJ4
Cap.de lts de óleo Lubrificante com filtro	L	10,0
Interv. para Subst. de óleo e Filtro Lubrificante	H	250,0

Fonte: Adaptado de MWM GERADORES (2021).

Segundo a fornecedora e fabricante MWM GERADORES (2021), um motor-gerador Scania novo, do modelo OC16 com potência de 525 kVA, custa, aproximadamente, 630.000,00 reais. Já o Motor MWM, modelo 4.12TCEG-G3, com potência de 135 kVA, custa aproximadamente 290.000,00 reais.

Para que os sistemas sejam mais equivalentes no quesito potência, tem-se uma relação de um motor Scania OC16 para quatro motores MWM 4.12TCEG-G3 (Tabela 04).

Tabela 04: Sistemas utilizados e seus respectivos dados.

Motores	Total	Preço U. (R\$)	Preço T. (R\$)	Potência U. (KVA)	Potência T. (KVA)
Scania OC16	1	630.000,00	630.000,00	525	525
MWM 4.12TCEG-G3	4	290.000,00	1.160.000,00	135	540

Fonte: Adaptado de MWM GERADORES, 2021.

É possível observar que os sistemas não são perfeitamente equivalentes no quesito potência, possuindo uma diferença de 15 kVA, sendo o conjunto de quatro MWM 4.12TCEG-G3 levemente mais potente que o conjunto com um Scania OC16. Entretanto, o investimento inicial do conjunto utilizando um Scania OC16 é 530.000,00 reais mais barato.

Nota-se que o conjunto formado pelo motor Scania OC16 é 2,78% menos potente do que o conjunto com quatro motores MWM 4.12TCEG-G3, porém, o conjunto com quatro motores é 45,64% mais caro. Em outras palavras, tem-se uma melhor relação custo/potência no motor Scania OC16.

Nesse sentido, Rohden, Matos e Curth (2016) dizem que o custo-benefício é um dos principais fatores na determinação de uma boa compra. Por meio deste conceito, empresas e pessoas são capazes de adquirir ou realizar aquilo que traz

mais benefícios do que custos. Basicamente, avaliar o custo-benefício é analisar as vantagens e as desvantagens daquilo que se deseja adquirir.

No quesito consumo, segundo os dados disponibilizados pelas fabricantes, o motor Scania OC16 tem um consumo de 125 Nm³/h, enquanto um motor MWM 4.12TCEG-G3 tem o consumo de 35,1 Nm³/h; logo, o conjunto de quatro motores teria um consumo total de 140,40 Nm³/h.

Em relação ao comparativo potência/consumo, foi possível notar que, além do aumento da potência, houve um aumento do consumo, porém, o conjunto MWM aumentou 10,96% seu consumo para um ganho de potência de 2,78% em relação ao Conjunto Scania.

Para Miranda (2018), o consumo de energia é dado pelo somatório das potências de todos os equipamentos ligados durante determinado tempo. Um equipamento é considerado mais eficiente que outro quando é capaz de proporcionar as mesmas condições e benefícios de utilização com um consumo menor de energia, em um mesmo intervalo de tempo.

Segundo a MWM GERADORES (2021), o conjunto composto pelo Scania OC16 deve ter seu óleo lubrificante trocado a cada 500 h de funcionamento. O óleo lubrificante recomendado é de especificação SAE 15W40 CH-4, a preços de mercado, utilizando marcas que oferecem boa qualidade, o custo de um galão de 20 L é cerca de 449,00 reais, para este motor em específico são necessários 48 L para realizar a troca. Se forem utilizados três galões de 20 L, tem-se um custo total de 1.347,00 reais, e uma sobra de 12 L para a próxima troca. Na troca, também é utilizado o filtro de óleo Scania 114 124, no valor de 151,32 reais.

Quando se trata do conjunto composto pelos quatro motores MWM 4.12TCEG-G3, para a troca de óleo de um motor, são necessários 10 L do lubrificante de especificação SAE 15W40 CH-4. Considerando quatro motores, seriam necessários 40 L para uma troca completa, na cotação anteriormente mencionada dois galões de 20 L no valor de 449,00 reais, totalizando 898,00 reais. Também deve-se levar em conta a troca dos quatro filtros, um para cada motor, sendo que cada filtro MWM Psl339 custa a preço de mercado 36,00 reais, totalizando 144,00 reais (MWM GERADORES, 2021).

Pode-se observar que, nesse caso, a manutenção do conjunto MWM apresenta melhor custo-benefício (Tabelas 05 e 06).

Tabela 05: Valores das trocas de óleo

Motores	Óleo	Nº de Galões de 20 L	Valor Unitário	Valor Total
Scania OC16	SAE 15W40 CH-4	1	R\$ 449,00	R\$ 1.347,00
MWM 4.12TCEG-G3	SAE 15W40 CH-4	2	R\$ 449,00	R\$ 898,00

Fonte: Autoria própria (2021).

Tabela 06: Valores das trocas Filtro

Motores	Filtro	Unidades	Valor Unitário	Valor Total
Scania OC16	Scania 114 124	1	R\$ 151,32	R\$ 151,32
MWM 4.12TCEG-G3	Filtro MWM Psl339	4	R\$ 36,00	R\$ 144,00

Fonte: Autoria própria (2021).

Figueiredo (2020) diz que trocas de óleo regulares são fundamentais para o funcionamento de um motor. O óleo, além de ser responsável pela lubrificação das peças, também protege as partes móveis, reduzindo o atrito entre elas e, conseqüentemente, o desgaste. O óleo lubrificante também tem um papel relevante no controle de temperatura do motor, evitando que esse calor se dissipe para sistemas próximos. Com o tempo de utilização, o óleo pode sofrer com principalmente dois fatores, o calor e os resíduos de queima. É normal que o nível de óleo diminua com o uso, pois este se desgasta, além de ser necessário se preocupar com o combustível que alimenta o motor em questão, pois resíduos de queima podem contaminar o óleo lubrificante, fazendo com que perca parcialmente suas propriedades, ou pior, se torne ácido e prejudicial aos componentes.

Para identificar em quanto tempo cada sistema é capaz de se pagar, primeiro deve-se identificar a produção de cada conjunto em kW. Sabe-se que a potência do conjunto Scania OC16 é de 525,00 kVA, a partir da relação $kVA \times 0,8 = kW$ pode-se calcular: $525,00 \times 0,8 = kW \rightarrow kW = 420,00$.

Considerando uma bandeira amarela de consumo e uma situação de emprego dos motores na zona rural de Minas Gerais, tem-se uma tarifa, segundo a CEMIG, de 0,562620 reais para 1 kW/h.

Conforme a MWM GERADORES (2021), o gerador acoplado consome cerca de 5,0% de tudo que produz, logo, a cada 420 kW produzidos perde-se 21kW. Pode-se dizer, então, que o conjunto Scania OC16 produz: $399,0 \times 0,562620 = 224,48$ reais em fornecimento de energia por hora.

Para calcular em quanto tempo esse investimento será capaz de se pagar, emprega-se a fórmula: Prazo de Retorno do Investimento= Investimento Total / Lucro Líquido. Considerando apenas o preço do conjunto Scania OC16 de 630.000,00 reais, pode-se calcular: $PRI=630.000,00 / 224,48 \rightarrow PRI= 2.806,48$ horas. Entretanto, torna-se necessário realizar uma troca de óleo e filtro a cada 500 h; para tal contagem de horas, seriam necessárias cinco trocas de óleo no total de 240 L e cinco trocas de filtro, o que na cotação anteriormente mencionada custa um total de 16.920,60 reais, ao acrescentar ao montante inicial e recalcular: $PRI= 646.920,6 / 224,48 \rightarrow PRI= 2,881,86$ horas. Ou seja, esse investimento no conjunto Scania OC16 é capaz de se pagar em 3,94 meses, considerando um trabalho de 24 h por dia.

A potência de um motor MWM 4.12TCEG-G3 é de 135 kVA. Utilizando a relação $kVA \times 0,8 = kW$, tem-se: $135 \times 0,8 = kW \rightarrow kW= 108 kW$. Também é dito pela fabricante que o gerador consome cerca de 5% de tudo que produz. Ou seja, a cada 108 kW produzidos, perde-se 5,4 kW; considerando o conjunto completo, tem-se 410,4 kW.

A partir da mesma tarifa energética utilizada anteriormente, tem-se: $410,4 \times 0,562620 = 230,89$ reais em fornecimento de energia por hora. Utilizando a fórmula de Prazo de Retorno do investimento temos: $PRI= 1.160.000,00 / 230,89 \rightarrow PRI = 5,024,03$ horas.

Deve-se, também, acrescentar os gastos com troca de óleo e filtro nesse período. A fabricante recomenda a substituição do óleo lubrificante e do filtro a cada 250 h, o que significa 20 trocas de óleo e filtro no período calculado.

Tabela 07: Sistemas utilizados e seus respectivos dados.

Motores	Total	Preço U. (R\$)	Preço T. (R\$)	Preço Final (R\$)	PRI
Scania OC16	1	630.000,00	630.000,00	646.920,60	3,94 meses.
MWM 4.12TCEG-G3	4	290.000,00	1.160.000,00	1.180,840	7,0 meses.

Fonte: Autores, 2021.

De acordo com os dados apresentados na Tabela 07, consideram-se os valores de óleo e do filtro para o conjunto, tendo um valor total de 20.840,00 reais no período calculado. Aplicando novamente a fórmula, tem-se: $PRI= 1.180,840/ 230,89$

→ PRI= 5.114,29 horas. Ou seja, esse investimento seria capaz de se pagar em 7,0 meses, considerando um trabalho de 24 h por dia.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização do biogás é vantajosa, pois apresenta, entre diversos benefícios, a redução da emissão do gás metano da atmosfera e a redução de gases poluentes. Apresenta um baixo custo quando comparado a outros combustíveis e pode retornar o investimento em menos de um ano. De acordo com Santos e Reis (2021), a utilização da biomassa em propriedades rurais apresenta-se vantajosa, uma vez que permite a redução dos impactos ambientais e a utilização energética dos resíduos oriundos de atividades biológicas em criadouros, além de haver a possibilidade de utilização do biogás na cozinha.

A realização do presente estudo permitiu verificar que um sistema de geração de energia a biogás utilizando um motor SCANIA OC16 começa a ser economicamente vantajoso para o produtor a partir do quarto mês e um sistema utilizando quatro motores MWM 4.12TCEG-G3 apenas retorna o investimento a partir do sétimo mês.

É importante salientar que, apesar de mais caro, o sistema MWM 4.12TCEG-G3 tem uma vantagem teórica em relação ao sistema com SCANIA OC16, pois caso o conjunto com apenas um gerador dê algum problema técnico a produção de energia é zero, fato que no segundo conjunto não ocorre, sendo possível utilizar a geração de energia dos outros três motores, o que torna esse sistema menos suscetível a problemas de geração durante a manutenção.

Dessa forma, diversos suinocultores da região têm investido na geração de energia a partir do biogás, utilizando motores integrados aos geradores, pois o conjunto motor-gerador permite a produção de energia para consumo próprio e possibilita a venda da energia excedente.

Pode-se dizer, então, que a utilização do biogás se mostra uma alternativa promissora para o futuro, devido à sua contribuição para a geração de energia elétrica sem prejudicar o meio ambiente, possibilitando o correto descarte dos resíduos gerados pelos animais das propriedades rurais, por obter retorno do

investimento em um período relativamente rápido e pelo fato de a produção de biogás apresentar baixo custo (PASSAGLIA; SANTOS; GUIDINI, 2019).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, Claudinei de. **Potencial de produção de biogás a partir de biomassa de suinocultura com culturas energéticas**. Orientador: Prof. Dr. Cleber Antônio Lindino. 2016. 100 f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2016.

ARAÚJO, Ana Paula Caixeta. **Produção de biogás a partir de resíduos orgânicos utilizando biodigestor anaeróbico**. Orientadora: Profa. Dra. Fabiana Regina Xavier Batista. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química) – Faculdade de Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017.

BUBICZ, Eduardo Nesi. **Análise de viabilidade econômica do aproveitamento de biogás oriundo da atividade suinícola para conversão em energia elétrica**. Orientador: Prof. Paulo Smith Schneider. 2016. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

BÜHRING, Gladis Maria Baches; SILVEIRA, Vicente Celestino Pires. O biogás e a produção de suínos do sul do Brasil. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 5, n. 2, p. 222-237, 2016.

CABRAL, Carolina Bayer Gomes *et al.* Análise da geração de energia elétrica a partir do biogás produzido por reatores UASB: um estudo de caso em escala real. **Congresso ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental**, 2017.

CAMPOS, Adriana Fiorotti. Gestão dos recursos energéticos para o desenvolvimento de uma matriz mais renovável no Estado do Espírito Santo. **Revista Espacios**, v. 37, n. 24, 2016.

CEMIG. Companhia Energética de Minas Gerais. **Valores de Tarifas e Serviços**. Disponível em: <https://www.cemig.com.br/atendimento/valores-de-tarifas-e-servicos/>. Acesso em: 10 out. 2021.

COLUNA, Naraisa Moura Esteves. **Análise do potencial energético dos resíduos provenientes da cadeia agroindustrial da proteína animal do estado de São Paulo**. 2016. Orientadora: Profa. Dra. Suani Teixeira Coelho. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Energia do Instituto de Energia e Ambiente, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

CÔRTEZ, Diego Alves; ROCHA, Everildes Maria Dias; CÔRTEZ, Thiago Alves. Biodigestores rurais e sua importância na sustentabilidade ambiental. **Humanidades & Tecnologia em Revista (FINOM)**, v. 18, n. 1, p. 97-108, 2019.

EMBRAPA. Sistema de Tratamento de Dejetos Suínos. **Inventário Tecnológico**, 2011.

FARIAS, Lislely Leite de Carvalho. **Eficiência energética: estudo comparativo entre programas mundiais**. 2017. Orientador: Prof. M.Sc. Leimar de Oliveira. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2017.

FASSINA, Maria Antônia. **Estudo do potencial de geração de energia elétrica, a partir de biogás, com substrato proveniente da pecuária no estado do Paraná**. 2020. Orientador: Prof. Me. Igor Henrique Nascimento Oliveira. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Universidade de Maringá, Maringá, 2020.

FIGUEIREDO, Igor Freitas. **Análise da composição de lubrificantes para determinação de fraudes em óleos básicos**. 2020. Orientador: Prof. Cyro Silva Lucas Chagas. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Química) - Instituto de Química, Universidade de Brasília, Brasília, 2020.

FRANÇA, Wagner Wilson Pinho de. **A elasticidade de substituição de Morishima aplicada aos recursos fósseis da matriz de energia primária**. 2018. Orientador: Prof. Dr. Flávio Braga de Almeida Gabriel. 111f. Dissertação (Mestre em Economia) – Centro de Ciências Aplicadas (CCSA), Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste), Toledo, 2018.

FRANZON, Gabriel. **Estudo da transferência de calor e biodigestores do tipo Plug-Flow com três tipos diferentes de cores de gasômetros e inserção de isolante térmico**. 2020. Orientador: Prof. Dr. Armin Feiden. 68 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia na Agricultura) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2020.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4 ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GONZAGA, Diego Augusto; BARBOSA, Rúben Christian. Estimativa do tamanho mínimo de rebanho suíno para a implementação de sistema de geração de energia elétrica de 35 KWH, 150 KWH, 275 KWH e 590 KWH, usando biogás como combustível para grupos geradores. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (RBAS)**, v. 6, n. 2, p. 26-32, 2016.

KAUARK, Fabiana da Silva; MANHÃES, Fernanda Castro; MEDEIROS, Carlos Henrique. **Metodologia da pesquisa: um guia prático**. Itabuna: Via *Litterarum*, 2010.

LEITÃO, Fabrício Oliveira; DIAS, Cleandro Pazinato; BRISOLA, Marlon Vinícius. Mensuração da capacidade de geração de energia elétrica a partir do tratamento de dejetos suínos. **IGepec**, Toledo, v. 24, n. 1, p. 91-115, 2020.

LEITÃO, Fabrício Oliveira; SILVA, Warley Henrique da. Geração de energia e renda a partir do tratamento dos resíduos da suinocultura. **IGepec**, Toledo, v. 22, n. 1, p. 116-132, 2018.

LEITE, Neuribertson Monteiro. **Classificação normativa das condutas de extração, comercialização e uso de biomassa como fonte de energia à luz do ordenamento jurídico brasileiro**. 2019. Orientador: Prof. Dsc. José Cezário de Almeida. 35 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas Agroindustriais) – Centro de Ciência e de Tecnologia Agroalimentar – CCTA, Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, 2019.

LOPES, Kamila; MARTINS, Eliane Maria; MIRANDA, Ronaldo Leão de. A potencialidade energética da biomassa no Brasil. **Revista Desenvolvimento Socioeconômico em Debate – RDSD**, v. 5, n. 1, p. 94-106, 2019.

MACHADO, Allan Ribeiro. **Potencialidades e desafios da utilização de biogás para transporte e geração de energia**. 2019. Orientador: Prof. PhD. Mário Eduardo Santos Martins. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, 2019.

MESSA, Vinícius R. *et al.* O biodigestor e seus benefícios na propriedade rural. **Anais da X SEAGRO – Agronomia – FAG**, Cascavel, 2016.

MIRANDA, Ana Rita Carvalhal. Estratégias de comercialização de potência como medida de eficiência energética. **Instituto de Engenharia do Porto - ISEP**, 2018.

MORAIS, Fabiana Terezinha Leal de. **Biodigestor: uma tecnologia sustentável**. 2017. Orientador: Prof. Dr. Tiago Gonçalves Pereira Araújo. 49f. Monografia (Bacharelado em Engenharia de Biosistemas) – Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido, Universidade Federal de Campina Grande, Sumé, 2017.

MWM GERADORES, 2021. **Folheto técnico de apresentação de produtos**. Disponível em: https://www.geradoresmwm.com.br/custom/cms/produtos/prod_71.pdf?cb=96525020210911134740. Acesso em: 11. set. 2021.

NASCIMENTO, Raphael Santos do; ALVES, Geiziele Mucio. Fontes alternativas e renováveis de energia no Brasil: métodos e benefícios ambientais. *In: XX Encontro Latino Americano de Iniciação Científica, XVI Encontro Latino Americano de Pós-Graduação e VI Encontro de Iniciação à Docência – Universidade do Vale do Paraíba*, 2016.

NAZARO, Mariane Scheffer. **Desenvolvimento de um biodigestor residencial para processamento de resíduos sólidos orgânicos**. Orientador: Dr. Marcio Antonio Andrade Nogueira. 2016. 103p. Trabalho de Conclusão de Curso

(Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

NEDEL, Tamires *et al.* Energias renováveis: uma revisão sobre o potencial de utilização da biomassa florestal no Brasil. *In: Congresso Internacional de Biomassa*, Curitiba, 2018.

NUNES, Angelo Pereira. **Análise de viabilidade econômica de geração de energia elétrica a partir de biogás de suinocultura**. 2017. Orientador: Prof. Dr. Leonardo Elizeire Bremermann. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Energia) - Universidade Federal de Santa Catarina, Aranguá, 2017.

NUNES, Henrique Graciano. **Manejo de efluentes oriundos da produção de suínos da unidade de ensino de suinocultura da Fazenda Experimental Ressacada – UFSC**. 2018. Orientador: Prof. Dr. Paulo Belli Filho. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

PASSAGLIA, Rúbia Carla; SANTOS, Carlos Alberto Frantz dos; GUIDINI, William Paulo. Análise de investimento para geração de energia elétrica através do biogás em uma propriedade de suínos. *In: XXI Encontro Internacional sobre Gestão Ambiental e Meio Ambiente*, v. 21, p. 1-11, 2019.

PATUSCO, João Antônio Moreira *et al.* **Resenha energética brasileira**. Ministério de Minas e Energia. Brasília – DF, p. 5. 2020.

PINTO, Lucía Iracema Chipponelli; MARTINS, Fernando Ramos; PEREIRA, Enio Bueno. O mercado brasileiro da energia eólica, impactos sociais e ambientais. **Revista Ambiente e Água**, v. 12, n. 6, p. 1082-1100, 2017.

REZENDE, Bianca Xavier. **Estudo da viabilidade da utilização de biomassa para geração de energia elétrica**. 2017. Orientador: Prof. Welbert Alves Rodrigues. 49 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Instituto de Ciências Exatas Aplicadas, Universidade Federal de Ouro Preto, João Monlevade, 2017.

ROHDEN, Simoni Fernanda; MATOS, Celso Augusto; CURTH, Marcelo. Intenções de recompra e confiança do consumidor *on-line*. **Revista de Ciências da Administração**, v. 18, n. 45, p. 9-24, 2016.

RUEDIGER, Alexia Cristina. **Avaliação da produção de biogás para fins energéticos de uma lagoa anaeróbica em escala real de indústria de conservas alimentícias**. 2017. Orientador: Prof. Dr. Paulo Belli Filho. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

SANTOS, Clarissa Vitória Borges dos; REIS, Kenedy Vieira dos. Biodigestor Unifamiliar para tratamento de dejetos com aproveitamento do biogás. **Contecc - Congresso Técnico-Científico da Engenharia e da Agronomia**, 2021. Disponível em: <https://www.confea.org.br/midias/uploads->

[imce/Contecc2021/Civil/BIODIGESTOR%20UNIFAMILIAR%20PARA%20TRATAMENTO%20DE%20DEJETOS%20COM%20APROVEITAMENTO%20DO%20BIOGAS%203%81S.pdf](https://repositorio.unifam.br/bitstream/handle/123456789/123456789/1/imce/Contecc2021/Civil/BIODIGESTOR%20UNIFAMILIAR%20PARA%20TRATAMENTO%20DE%20DEJETOS%20COM%20APROVEITAMENTO%20DO%20BIOGAS%203%81S.pdf). Acesso em: 23 nov. 2021.

SEABRA JÚNIOR, Edward; POZZO, Daniel Marcos Dal; SANTOS, Reginaldo Ferreira. *In: II Seminário de Engenharia de Energia na Agricultura Acta Iguazu*, v. 6, n. 5, p. 247-252, 2017.

SOUZA, Abel Alves de. **Estudo de caso de geração distribuída com biogás no aterro municipal de Cascavel – PR**. 2020. Orientador: Reinaldo Aparecido Bariccatti. 58 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2020.

STOCKMANN, Ádrian Juchem. **Avaliação do tratamento de esgoto sanitário combinado com resíduos sólidos de restaurantes em biodigestor chinês e reator UASB**. 2017. Orientadora: Profa. Dra. Luciana Paulo Gomes. 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS, São Leopoldo, 2017.

TOMASI, Rodrigo. **Análise técnica e econômica para geração distribuída a partir do biogás em pequenas propriedades agropecuárias**. 2019. Orientador: Profa. Dra. Cristiane Lionço Zeferino. Monografia (Especialização em Tecnologias da Cadeia Produtiva do Biogás) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2019.

VANE, Lucas Fachini. **Desenvolvimento de método exergoeconômico-ambiental: uso do biogás em motores de combustão interna**. Orientador: Prof. Dr. Júlio Santana Antunes. 2016. 142 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica na área de Transmissão e Conversão de Energia) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2016.

VAZ, Patrícia Nogueira. **Simulação de biodigestor de fluxo tubular com e sem sistemas de recirculação e aquecimento**. 2019. Orientador: Dely Oliveira Filho. 98 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2019.

XAVIER, Beatriz Helene. **Aspectos termodinâmicos, ecológicos e econômicos de sistemas de cogeração com motores de combustão interna operando com gás natural, biogás e gás de síntese**. 2016. Orientador: Prof. Dr. Celso Eduardo Tuna. 117 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica na área de Energia) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2016.

INDÚSTRIA 4.0 E EFICIÊNCIA DAS MÁQUINAS CNC PARA CORTE DE AÇO EM UMA INDÚSTRIA METALÚRGICA

Acadêmicos: Aklla Vitor de Oliveira Martins e Gabriel Perígolo Conrado
Orientador: Rieder de Oliveira Neto

Resumo

Os processos de fabricação passaram por diversas evoluções ao longo dos anos, surgindo, assim, as máquinas CNC para corte de aço, entre elas o corte a plasma e a laser. No presente trabalho, realiza-se um comparativo entre uma máquina de corte a laser com capacidade de 2000 w, da marca Glorystar, e uma máquina de corte a plasma com 105, da marca Hypertherm. Para tanto, foram analisados seis corpos de prova em cada tipo de corte. Na coleta dos dados, utilizou-se o paquímetro para obtenção das dimensões dos furos realizados, com o objetivo de comparar a precisão de cada uma das máquinas, juntamente ao tempo de corte. No fim dos testes, foi possível constatar que o corte na máquina a laser foi mais rápido e mais preciso, quando comparado ao plasma. Também, foi observado que o corte a plasma gera uma espécie de “rebarba” (escoria), demandando um acréscimo de tempo para a realização do acabamento pelo processo de usinagem.

PALAVRAS-CHAVE: Industria 4.0; CNC; Laser; Plasma.

1. INTRODUÇÃO

A inovação e a evolução são aspectos intrínsecos ao âmbito econômico. Desde os primórdios da sociedade, em cada passo dado, tem-se evoluído e entendido como entregar produtos/serviços de forma cada vez mais eficiente. Entre os séculos XVIII e XIX, iniciou-se um processo revolucionário, conhecido atualmente como Revolução Industrial, marcando, assim, a transição das produções artesanais em favor da produção mecanizada e pela criação de máquinas a vapor. Esse avanço considerável na área técnica industrial fez com que o número de produtos que exigiam mão de obra especializada fosse reduzido drasticamente (SACOMANO *et al.*, 2019).

Já a segunda revolução industrial, ocorrida entre os anos de 1850 e 1870, foi caracterizada pela busca por melhorias nas linhas de produção, motivadas pelo alto índice de consumismo, tendo como principal marco a descoberta da água como fonte de energia (nas hidrelétricas). Também, surgiram a implantação das linhas de montagem e a utilização de motores a combustão, principalmente petróleo. Nessa

fase, as empresas deixaram de ser familiares para se tornarem organizações empresariais mais complexas (BRESSER-PEREIRA, 2014).

De acordo com Silva, Silva e Gomes (2002), a terceira revolução industrial começou em meados do século XX, visionando cenários futurísticos, tais como: veículos voadores, robôs, elevadores de tubo transparente, programas de controle de qualidade, entre outros. Porém, a realidade foi bem diferente, e suas principais atribuições eram relacionadas a produções mais enxutas, que utilizavam o sistema Toyota de produção, por meio do princípio da automação de indústrias e do uso intensivo da TI (SACOMANO *et al.*, 2019).

A partir dos avanços tecnológicos e da evolução da internet, processo vivenciado na atualidade, surge uma nova visão de indústria, conhecida como Indústria 4.0 ou quarta revolução industrial, que se baseia principalmente na utilização de *softwares* e *hardwares* cada vez mais avançados, com sensores mais potentes, menores e a custos mais acessíveis (COELHO, 2016).

Não obstante, o uso do aço foi um dos pontos centrais para todas as revoluções industriais, sendo fundamental para o desenvolvimento social e econômico de um país (OLIVEIRA; SOLLERO, 2014).

Diante da ampla aplicabilidade dessa fase na sociedade contemporânea, destacam-se as melhorias propiciadas à construção civil, indústrias, aviação, eletroeletrônicos, medicina, entre outras. A título de exemplo, menciona-se a produção de aço bruta brasileira, que lança cerca de $32,455 \times 10^6$ toneladas; em contrapartida, o consumo per capita de aço bruto gira em torno de 110,4 kg, podendo ser considerado baixo se comparado a países desenvolvidos, como os EUA com 329,7kg, Japão com 551,0 kg e Coreia do Sul com 1.082,3kg (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2020).

Uma forma usual de trabalhar o aço dentro da atual quarta revolução industrial é a partir da utilização das máquinas de manufatura assistida por computador CNC (*Computer Numeric Control* – Controle Numérico por Computador). Tais máquinas-ferramentas esculpem no material bruto as mais diversas formas para produzir peças, elementos de outras máquinas e produtos nas indústrias (SAKURAI; ZUCHI, 2018).

Com o avanço dos comandos numéricos, surgiu o CNC, que alterou os *hardwares* para domínio de *softwares*, tornando as máquinas-ferramentas mais

fáceis de se controlar, podendo alterar os comandos já programados conforme a provisão de memórias de armazenamento e a leitura dos comandos antes da execução (SOUZA, 2018).

O corte de aço na atualidade advém do surgimento de máquinas CNC, entre elas, destacam-se a máquina de corte a laser e a máquina de corte a plasma, devido às suas diversas aplicabilidades e agilidade do processo. Por ser uma ferramenta eficaz e versátil, o laser tem sido aplicado em diversos campos no corte de aço, possibilitando a total separação da peça (produto) usinada da chapa. Além disso, estima-se que 60% das aplicações industriais do laser são utilizadas para o corte, por possuírem diversas vantagens em comparação a outras máquinas-ferramentas (FERNANDES NETO, 2019).

Já o corte a plasma evidencia um aumento no desenvolvimento, principalmente no campo de equipamentos voltados para a manufatura ágil, garantindo cada vez mais equipamentos com robustez e confiabilidade (PEREIRA, 2017).

No Brasil e no mundo, todo o setor industrial de aço desempenha um papel ativo, protagoniza o setor econômico e é necessário em praticamente todas as nações. Além disso, o maquinário CNC apresenta grande relevância nas indústrias atuais, em virtude do cenário economicamente competitivo.

Diante do exposto, justifica-se a realização deste estudo, visando oferecer significativas contribuições científicas a fim de favorecer a escolha dos maquinários CNC mais adequados para cada fim escolhido (SAKURAI; ZUCHI, 2018).

Assim sendo, a presente pesquisa traz como questão norteadora: Quais as principais vantagens e desvantagens das máquinas CNC de corte a plasma quando comparadas as de corte a laser?

Tendo em mente a utilização do corte de aço nas indústrias metalúrgicas, objetiva-se realizar um comparativo entre as máquinas CNC de corte a laser e a plasma, buscando evidenciar vantagens e desvantagens de cada alternativa.

Dessa forma, acredita-se contribuir para a difusão do conhecimento acerca do maquinário CNC, bem como evidenciar as diferenças e as possíveis aplicações das máquinas avaliadas.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. AS REVOLUÇÕES INDUSTRIAIS

Com o crescimento populacional, houve a escassez de produtos, e a dificuldade de produção acarretou a urgência de uma evolução. Nesse cenário, a primeira revolução industrial foi capaz de introduzir um novo conceito de produção, mostrando a necessidade de uma evolução constante. Na Inglaterra, ao fim do século XVIII e início do século XIX, entre os anos de 1760 e 1860, foi iniciado um dos grandes marcos na indústria têxtil, que logo após passou a ser utilizado nos países como Rússia, Bélgica, Alemanha, França, Holanda e Estados Unidos (BOETTCHER, 2015).

Sacomano *et al.* (2019) destacam que a necessidade de evolução, concomitante ao crescimento populacional e ao aumento das manufaturas artesanais, culminou na criação da primeira máquina de fiar, do inventor inglês James Hargreaves, em 1767, toda de madeira, passando a ser utilizada na Inglaterra. Em seguida, foi criado um tear hidráulico, em 1769, sendo aperfeiçoado e passado a ser usado nas indústrias de tecidos. Por sua vez, James Watt aperfeiçoou a máquina a vapor e Edmund Cartwright criou, em 1785, o tear mecânico, que pôde ser operado por mão de obra não profissional, iniciando a tecelagem industrial na Inglaterra.

A segunda revolução industrial iniciada em 1870 teve como principal fundamento a necessidade de novas tecnologias para atender a demanda crescente. Sendo assim, o modelo de indústria do século XVIII sofreu diversas adaptações e melhorias atreladas à busca contínua por inovações. Durante esse período, a aplicação de motor a explosão, energia elétrica, produção de aço e alumínio, e a criação do telégrafo tiveram papéis fundamentais nessa revolução (BOETTCHER, 2015).

Como consequência do aumento da produção, os trabalhadores foram explorados fisicamente e mentalmente, na realização de tarefas rápidas e repetitivas em linhas de produção. Isso possibilitou uma nova forma de visão crítica a respeito da manufatura em massa, como o filme *Tempos Modernos* de Charles Chaplin, que descrevia a pressão vivida por operários nas linhas de produção (ARAÚJO, 2019).

Com o fim da Segunda Guerra Mundial, surgiu o período de transição entre as revoluções industriais, passando da segunda para a terceira. Durante esse período, foram criados diversos equipamentos eletrônicos, conhecidos atualmente computadores, robôs, satélites, televisores e celulares e diversos outros. Do mesmo modo, houve mudanças significativas no processo produtivo e a economia mundial foi modificada (DIAS, 2020).

No início da terceira revolução industrial, o Japão estava destruído, pois havia sofrido diversas perdas até se render. O governo japonês, então, introduziu um plano para reduzir o desperdício, visando aproveitar o máximo dos recursos ainda existentes no país (ELIAS; MAGALHÃES, 2003).

No final da década de 60, surgiram os controladores lógicos programáveis (CLP), no intuito de auxiliar o processo de automação industrial. Com o passar do tempo, a eletrônica evoluiu e se tornou mais acessível, sendo capaz de atender a desafios cada vez maiores (NAKAYAMA, 2017).

2.2. INDÚSTRIA 4.0

A primeira vez que se ouviu falar em Indústria 4.0, ou quarta revolução industrial, foi em uma feira Industrial de Hannover, na Alemanha, em 2011. No início do século 21, com o desenvolvimento da Internet, sensores menores e mais poderosos, preços cada vez mais baixos, *softwares* e *hardwares* mais complexos, aprendizado de máquina e com recursos de colaboração criaram uma enorme rede das "coisas". Assim, a revolução na indústria começou e causou impacto na competitividade, na sociedade e na economia, gerando mudanças concretas no mundo (COELHO, 2016).

Por fim, cabe pontuar que o modelo de indústria 4.0 dispõe de elementos formadores, tendo como principais pilares de inteligência e formação a internet das coisas e serviços, sistemas *cyber-physicos* e Big-Data (SACOMANO *et al.*, 2019).

2.2.1. Internet das Coisas

A Internet das Coisas diz respeito à extensão da Internet atual, permitindo que objetos do cotidiano (sejam eles quais forem) sejam submetidos a recursos de

computação e de comunicação, sendo, portanto, conectados à Internet. A conexão com a rede mundial de computadores realizará primeiro o controle remoto de objetos e, em segundo lugar, permitirá que os próprios objetos sejam acessados como provedores de serviços. Essas novas habilidades de disciplinas comuns criaram muitas oportunidades nos campos acadêmico e industrial (SANTOS *et al.*, 2016).

2.2.2. Sistemas *Cyber-physicos*

Os Sistemas *Ciber Físico* (CPS) são mais uma forma de implantação dos sistemas de informação e automação, tornando possíveis a troca de informações, a execução de comandos e o monitoramento de processos produtivos. Tudo isso computadorizado e em tempo real. Outra ferramenta é a simulação do processo produtivo virtual, a depender da análise de viabilidade do processo (SACOMANO *et al.*, 2019).

Na prática, trata-se de um sistema que pode funcionar com sensores que geram dados sobre determinada máquina em funcionamento, ou até mesmo computadores e sistemas integrados que monitoram as ações físicas do equipamento. Diversos setores têm se beneficiado da criação desse método de implantação, principalmente grandes infraestruturas de custo elevado (indústria de óleo e gás, usinas, barragens, etc.) (PISCHING *et al.*, 2017).

2.2.3. Big-Data

Big-Data é o nome dado à tecnologia da informação que trata grandes volumes de dados que por sua vez necessitam ser processados e armazenados de forma rápida e eficaz. Esse conceito é fundamentado em três pontos: volume de dados, velocidade e variedade (MACHADO, 2018).

Pode-se dizer que o big-data é regido por três “V’s”: Volume, Velocidade e Variedade. Com volume, basicamente se quer dizer que a quantidade de dados importa, principalmente dados não estruturados e de baixa densidade. É necessário dosar, pois, algumas empresas podem gerar dezenas de *terabytes* e outras centenas de *petabytes* (SOUZA, 2018).

2.3. CONTROLE NUMÉRICO COMPUTADORIZADO

O controle número computadorizado (CNC) é um sistema que permite orientar de forma computadorizada o maquinário, tendo algumas de suas principais utilizações no setor de usinagem e similares. Assim, torna-se possível o controle de diversos eixos ao mesmo tempo, por meio de instruções escritas em código.

O referido sistema possui diversas vantagens e desvantagens, cabendo uma análise detalhada para fazer a escolha adequada de sua implantação (SOUZA, 2018), (Tabela 1).

Tabela 1: Comparativo de vantagens e desvantagens da utilização e implantação de máquinas CNC

VANTAGENS	DESVANTAGENS
Melhora a produtividade	Investimento inicial alto
Diminui o tempo de produção	Exige manutenção especializada
Permite mais flexibilidade	Ainda existe o fator de erro “humano”
Realiza diversas operações, basta trocar o <i>software</i>	Carece de especialização para realizar operações
É bastante preciso	Não é recomendado para séries pequenas
Evita erros por reposicionamento de peça	

Fonte: Adaptado de Souza (2018).

2.4. VISÃO GERAL SOBRE O AÇO

O aço é uma liga metálica composta de ferro carbono (Fe-C), formado por cerca de 0,008 a 2% de carbono, além de conter alguns elementos de liga resultante do processo (SANTOS FILHO *et al.*, 2018).

Existem diversos tipos de aço para aplicações diferentes. Todo aço possui carbono em sua composição, porém, dependendo da função a qual será destinado, outros elementos de liga podem ser adicionados à mistura, tais como: cromo, níquel e cobre (PÓVOA, 2017).

Um dos tipos de aço mais conhecidos é o aço estrutural, que é empregado na construção civil, tendo grande resistência mecânica, ao auxiliar o concreto no suporte de grandes carregamentos. Basicamente, o aço e o concreto são

complementares, sendo o primeiro resistente à tração e o concreto resistente à compressão, tornando o concreto armado bastante resistente (SANTOS FILHO *et al.*, 2018).

Outro tipo especial de aço é o aço para molas, que precisa ter um alto coeficiente elástico, para suportar tensões internas e superficiais, deformar-se e ter a capacidade de retornar ao estado original. Em geral, o aço carbono é utilizado somente em casos específicos, priorizando o uso de ligas metálicas. Também, cita-se o aço para a construção mecânica, comumente utilizado para a fabricação de peças, rolamentos, eixos, engrenagens e muito mais. Estes, geralmente, são aços carbono ou com baixo teor de liga (PÓVOA, 2017).

2.5. CORTE DE AÇO A PLASMA

O corte de plasma foi originalmente baseado na geração de uma coluna de gás com a ajuda do arco elétrico, aumentando sua temperatura o suficiente para fazer a colisão entre as moléculas de gás, para então gerar a dissociação e a ionização. Esse efeito aumenta sensivelmente a temperatura, e proporciona um aumento da taxa de energia transmitida para a peça. Cabe lembrar que o aumento na velocidade é a consequência direta da constrição do plasma (coluna de gás ionizado) (MOUGO; CAMPOS; SILVA, 2018).

2.5.1. Conceito de Plasma

Por definição, plasma é descrito como o quarto estado da matéria. Durante muito tempo, falava-se que a matéria era dividida em três estados, sólido, líquido e gasoso. De maneira prática, percebe-se esses estados em substâncias simples como água, resumida em gelo, água e vapor. As diferenças entre os três estados ocorrem em função dos níveis de energia, adicionando calor (energia) ao gelo, o mesmo derrete e se transforma em água. Dessa forma, se continuar adicionando calor, se transformará em oxigênio e hidrogênio no estado de vapor; se acrescentar novamente calor ao vapor ele se torna gás ionizado. Durante o processo de ionização, os gases se tornam condutores de eletricidade, dando origem ao estado do plasma, sendo o gás eletricamente condutor e ionizado (COSTA, 2018).

2.5.2. Plasma no processo industrial

O processo de corte a plasma emprega o gás ionizado, formado a partir de uma fonte de alimentação, ao qual gera a partida do arco quando em contato com o gás. Tal fenômeno ocorre na tocha, em decorrência da descarga de energia, sendo direcionada até o eletrodo para criar uma centelha que energiza o gás e forma o arco plasma. Assim, o arco é conduzido a um pequeno ducto localizado ao centro do bico, culminando na maior concentração de energia, que possibilita o corte e/ou a fundição de materiais metálicos (SOUZA, 2016).

Os métodos mais empregados no corte a plasma são o corte manual e mecanizado. O corte manual é de fácil manuseio e seu modo de utilizar é simples, e em alguns casos as tochas possuem um bocal isolado que possibilita a utilização de gabaritos ou régua para guiar o corte. Além disso, as fontes inversoras se tornam preferidas, devido à facilidade no transporte.

Por outro lado, os cortes mecanizados utilizam sistemas automáticos para manejo da tocha, podendo ser CNC ou não. Também, os sistemas manuais podem ser convertidos em mecanizados, a depender dos limites de aplicação recomendados pelo fabricante. Na maioria dos casos, como consequência, tem-se a redução da capacidade de corte pela metade, quando utilizado mecanicamente, mediante a capacidade da fonte geradora. Portanto, o aquecimento constante da tocha gera um equilíbrio entre velocidade de corte e a refrigeração adequada da tocha (COSTA, 2018).

2.5.3. Qualidade do corte plasma

Os cortes térmicos devem ser baseados em normas, observando os limites determinados para aprovação do processo e, portanto, estabelecendo as tolerâncias aceitáveis. O desvio angular, a rugosidade, as linhas de arraste e a formação de escórias são fatores de extrema importância para a avaliação de qualidade do corte (SILVA; GASPAROTTO, 2019).

Para determinar a velocidade correta do corte, é recomendado utilizar as linhas de corte, analisando a viabilidade da utilização do mesmo no processo. Em geral, as linhas devem seguir o corte com 10 a 15 graus aproximadamente; no

momento em que as linhas estão mais verticais, a sua velocidade é muito baixa, logo, se as linhas estão mais alinhadas, a velocidade é muito alta (SILVA; GASPAROTTO, 2019).

2.5.4. Corte de circunferências internas

Como um dos maiores desafios para o corte a plasma, cita-se a fabricação de itens com diâmetros internos próximos à espessura do material a ser cortado. Portanto, há alguns pontos a serem respeitados. Para plasma de alta definição, em chapa de 3 mm, é utilizada 1,5 vezes a espessura do material, já plasma convencional de 3 mm até 12 mm, é utilizada duas vezes a espessura do material e acima de 12 mm é utilizada 1,5 vezes a espessura do material. Para o corte de diâmetro interno em plasma, deve-se ter todo o cuidado (MOUGO; CAMPOS; SILVA, 2018).

2.6. CORTE DE AÇO A LASER

No princípio da década de 70, foi iniciado o desenvolvimento dos lasers de potência e a utilização dos mesmos em cortes. O processo de corte a laser é o preferencial de diversas empresas, devido à alta velocidade no corte de extrema exatidão, além de permitir a obtenção de peças com geometria complexas (CONRADO, 2014).

Em 1917, Albert Einstein realizou os primeiros trabalhos de investigação que conseqüentemente ocasionaram a invenção do feixe laser. Seu trabalho era baseado em estudos de fenômenos físicos de emissão espontânea e estimuladas pelo início do desempenho do laser (PAGATINI, 2017).

2.6.1. O laser e suas aplicações

Laser é a abreviação de *Light Amplification by simulated emission of radiation* (ampliação da luz por emissão estimulada de radiação), sendo, atualmente, sinônimo de alta eficiência e qualidade nos processamentos de materiais como metais. O processo de formação do laser se assemelha ao processo de quando se

focalizam os raios de sol através de uma lente, a fim de produzir uma fonte concentrada de energia em forma de calor (AMARAL, 2018).

Nesse sentido, considera-se que o famoso raio laser seja um tipo de radiação eletromagnética perceptível ao olho humano. Entretanto, o laser tem algumas características especiais, por exemplo, o fato de ser monocromático, ou seja, composto por radiações de frequência única. O que torna o laser potente é a alta concentração de energia em um pequeno ponto (ANDRADE, 2018).

Em relação às soldas e cortes, a característica que chama mais atenção é a sua colimação, isto é, sua capacidade de ser focada em um ponto minúsculo com densidade de energia extremamente alta. A indústria automobilística, por exemplo, faz uma grande utilização de lasers em processador de soldagem controlados por computador, em virtude da precisão de se realizar cortes relativamente limpos em metais (AMARAL, 2018).

2.6.3. O laser no processo industrial

O sistema de corte a laser é composto por uma fonte laser e por uma ferramenta que possibilita o deslocamento relativo do feixe de corte e também da peça. A máquina laser mais comum é formada por três partes, sendo o laser, a mesa e o sistema de ligação (SANTOS; PISCIOTTA, 2020).

O laser é a fonte de radiação com características coerente e potências adequadas ao trabalho de corte desejado. A mesa é o apoio onde se coloca o material a ser cortado sob forma de chapa. E, por fim, tem-se o sistema de interligação entre o laser e mesa, que conduz o feixe desde a saída até o material, possibilitando o deslocamento relativo nos eixos X, Y, Z entre este e o feixe (PICCOLI; PACHECO; BRANDI, 2017).

Na fabricação da peça de corte a laser, inicialmente, o material deve ser colocado na mesa sobre a forma de chapa. Em seguida, a cabeça de corte faz movimentos sobre a chapa em direções longitudinais e transversais, sendo estes movimentos transmitidos por motores lineares, através da cabeça de corte. Assim, o gás de assistência é formado, tendo como uma das funções remover o material fundido e óxidos do local do corte (SANTOS; PISCIOTTA, 2020).

2.6.4. Parâmetros de corte

Para realizar o corte por laser, devem ser levados em consideração vários parâmetros, a saber: potência, lentes, feixe laser, modo de funcionamento (contínuo ou pulsado), comprimento de ondas de radiação. Com relação aos ajustes dos parâmetros, destacam-se os seguintes quesitos: velocidade de corte, material (refletividade, características, espessura) (AMARAL, 2018).

3. METODOLOGIA

A princípio, foi realizada uma revisão bibliográfica sobre as quatro revoluções industriais e os processos da manufatura assistidas por computador para o corte de aço através de máquinas CNC, sendo elas a máquina de corte a laser e a máquina de corte a plasma.

Segundo Kauark, Manhães e Medeiros (2010), existem três tipos de classificação da pesquisa científica segundo ao seu objetivo, sendo que a exploratória tem como objetivo ampliar o conhecimento sobre fenômenos específicos. Já a pesquisa descritiva busca compreender a realidade em estudo, suas características e problemas. Por sua vez, a pesquisa explicativa preocupa-se em determinar os fatores decisivos ou contribuintes do fenômeno desencadeante, explicando por que ocorreram tais eventos. Com base nessas informações, o presente estudo é caracterizado (quanto ao seu objetivo) como explicativo.

A classificação da pesquisa científica, segundo a abordagem problema, pode se dividir em qualitativa e quantitativa. A qualitativa busca analisar e verificar a relação entre realidade e o objeto de estudo, mas esse método não possui um significado preciso nas áreas a serem utilizados, visto que as informações pertinentes não são transcritas em números, mas sim em uma análise realizada pelo próprio autor (RAMOS; RAMOS; BUSNELLO, 2005). Em contrapartida, a pesquisa quantitativa é baseada em dados que podem ser quantificados ou expressos em números, podendo ser transformados em gráficos estatísticos, sendo assim um método mais objetivo por não levar em conta opiniões (DALFOVO; LANA; SILVEIRA, 2008). Portanto, a pesquisa em questão é quantitativa.

O meio de pesquisa que mais se adequa a esta é a experimental. Segundo Gil (2008), de maneira generalizada, um experimento é a melhor representatividade de uma pesquisa científica, e inclui a determinação do objeto de pesquisa, a seleção de variáveis que podem afetá-lo, a definição da forma de controle e a observação do impacto das variáveis no objeto de estudo.

Quanto à parte empírica, a pesquisa foi realizada em uma empresa do grupo CEP metalúrgica Ltda do seguimento industrial, na qual atua no seguimento de fabricação de caixas metálicas para automação, cubículos para elétrica, caixas e armários para medição de energia, acessórios agrícolas, entre outros. Atualmente, a empresa conta com diversos setores e maquinários para auxiliar na fabricação. Entre eles estão o setor de corte (guilhotina, plasma CNC e laser CNC), o setor de estampagem (duas puncionadeiras), o setor de dobra (três dobradeira CNC), o setor de solda (três soldas MIG e elétrica), e o setor de pintura (processo de pintura eletrostática com tinta em pó). A empresa conta com mais de 26 anos de atuação no mercado nacional, e está localizada na BR 262 Km 38,4 s/n, no bairro Ponte da Aldeia na cidade de Manhuaçu, Minas Gerais.

O estudo comparativo foi realizado a partir da confecção de uma peça utilizada em estruturas de sistemas de refrigeração, embora seja especificamente utilizada para fixação dos compressores (Figura 01).

Quanto aos dois modelos de maquinário CNC, o primeiro é no corte a laser da marca *Gorystar* com capacidade de 2.000 W de potência do seguimento de corte fibra laser. O segundo modelo é realizado no corte a plasma, Elite através de sistemas de geradores de plasmas *hypertherm powermax 105*.



Figura 01: Representação tridimensional da peça desenvolvida.
Fonte: Autoria própria (2021).

Na Figura 02, esboça-se o dimensionamento planejado da peça, com diversas furações especificadas de acordo com o projeto, levando em consideração que o aço utilizado foi o SAE-1040 com espessura do aço que é de ¼” (aproximadamente 6,35 mm).

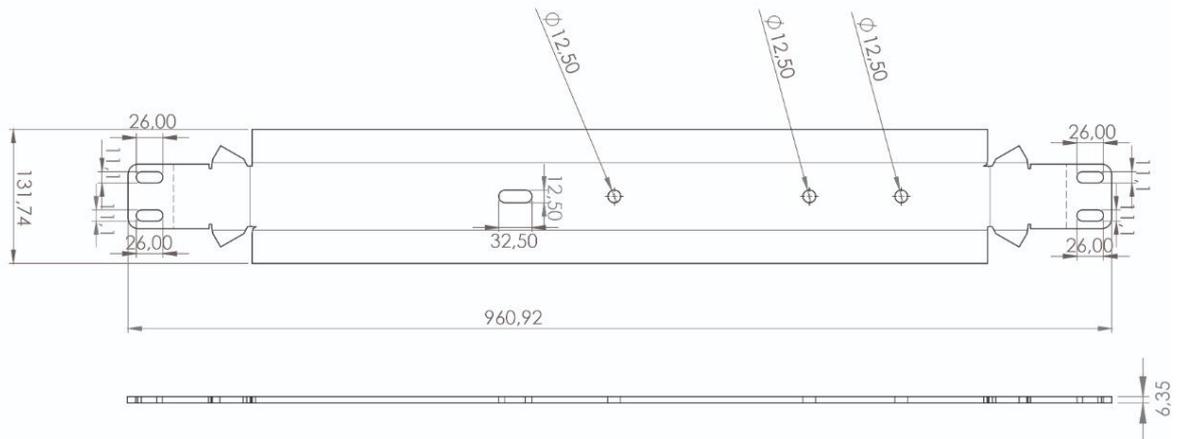


Figura 02: Desenho 2D da peça para comparação dos métodos de corte com cotas em mm.
Fonte: Autoria própria (2021).

Na Figura 03, apresenta-se a nomenclatura de cada furo e os seus respectivos posicionamentos.

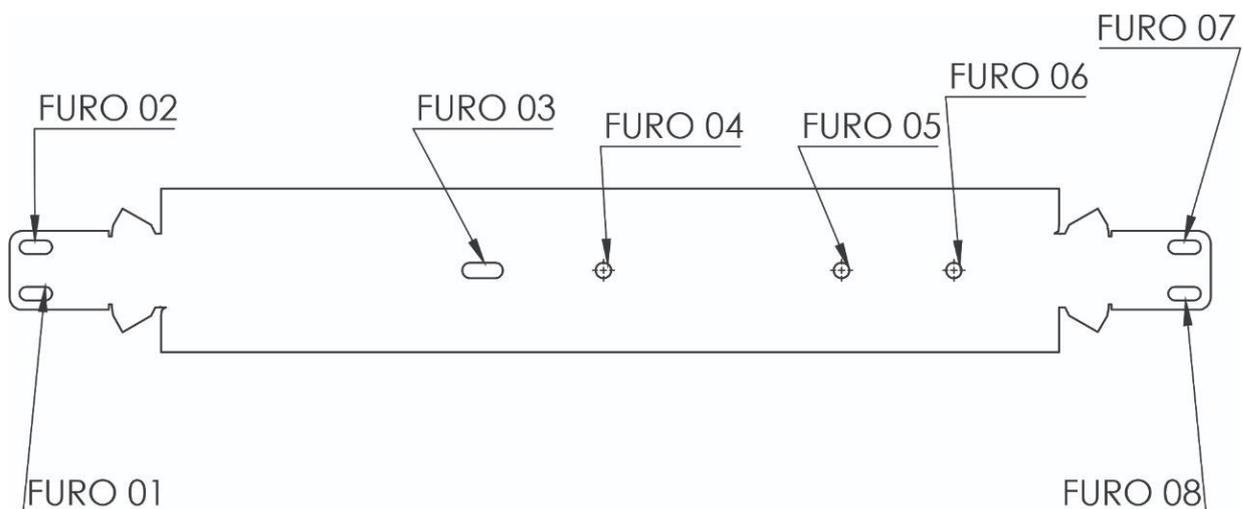


Figura 03: Desenho 2D da peça com as devidas localizações de cada furo.
Fonte: Autoria própria (2021).

A análise de eficiência entre as máquinas foi determinada a partir de dois parâmetros, sendo eles o tempo de corte por peça e a proximidade com as dimensões estabelecidas (precisão). O tempo de corte é dado pelo cronômetro

interno da máquina e as dimensões são medidas com um paquímetro devidamente calibrado, segundo o Inmetro (Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia).

Portanto, para a análise do processo e dos pontos de eficiência supracitados, foram executados 12 corpos de prova, seis para cada tipo de corte, e essa quantidade foi determinada de acordo com o número de peças descrito na ordem de produção da solicitação do cliente.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. ANÁLISE DO CORTE A PLASMA

O corte a plasma é um processo em que um bico com um pequeno furo restringe a passagem do gás ionizado, que sai em alta temperatura e pode ser utilizado para cortar as secções dos metais. Essa zona do metal, afetada pelo calor do plasma produzido, é um dos principais aspectos para determinar a precisão do acabamento. Em geral, essas bordas estão relacionadas à velocidade do corte - quanto mais demorado for o corte, maiores as bordas afetadas pelo calor. No plasma, o gás utilizado também tem interferência nas bordas, o nitrogênio deixa as bordas mais quebradiças e duras; já o oxigênio, menos quebradiças (GEHRKE, 2019).

Nas peças produzidas neste trabalho, foram encontradas variações consideráveis nas dimensões, quando comparadas as peças cortadas a plasma com a peça inicialmente idealizada. Na peça original, os furos F1, F2 e F7 e F8 possuem as mesmas dimensões em 26x11,1 mm e o F3 32,5x12,5 mm.

O F7 apresentou uma precisão média em seu comprimento consideravelmente maior que os furos F1, F2 e F8, sendo -0,757 mm, onde o sinal de menos indica que a peça produzida possui dimensões menores do que a peça originalmente projetada. Não foi possível identificar nenhum motivo direto para que o F7 fosse mais preciso do que os demais furos que possuem as mesmas dimensões.

O F3 possui dimensões maiores do que os furos F1, F2, F7 e F8, sendo ligeiramente mais consistente do que os demais; este talvez seja um indicativo de

que o corte a plasma consiga ser mais fiel às dimensões originais das peças, se as dimensões dos furos forem um pouco maiores.

Para determinar a variação em milímetros, subtraiu-se o valor das dimensões encontradas nas medições pelo valor da peça projetada. Isso quer dizer que valores negativos indicam que a peça final se tornou menor do que a peça original, e sinais positivos indicam que a peça final possui dimensões maiores que a peça original. Logo, quanto mais próxima de zero for a variação, mais preciso foi o corte, conforme apresentado na Figura 04.

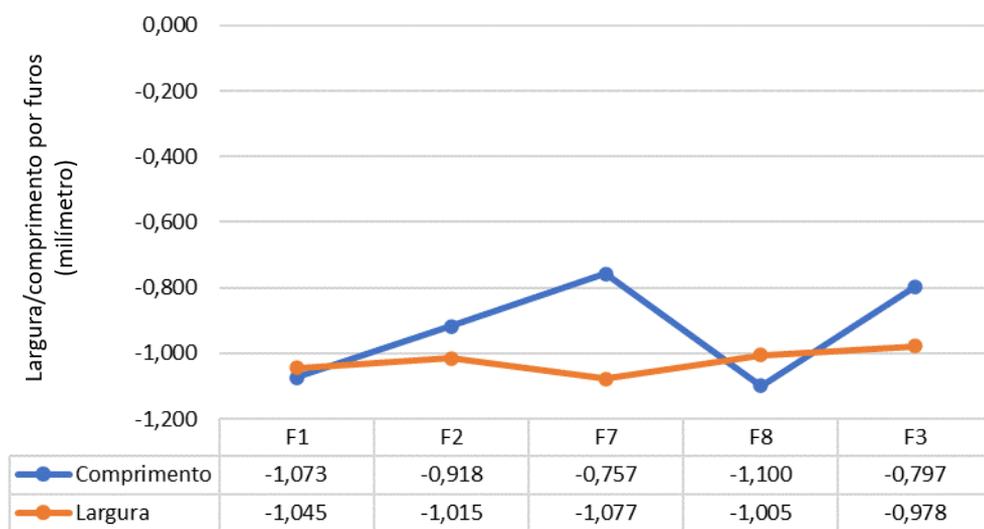


Figura 04: Variação Média da precisão do corte a Plasma em mm.

Fonte: Autoria própria (2021).

Quanto aos furos circulares, F4, F5 e F6, todos possuem diâmetro projetado de 12,5mm. Nota-se uma variação menor na precisão dos furos circulares em relação aos furos retangulares (Figura 05).

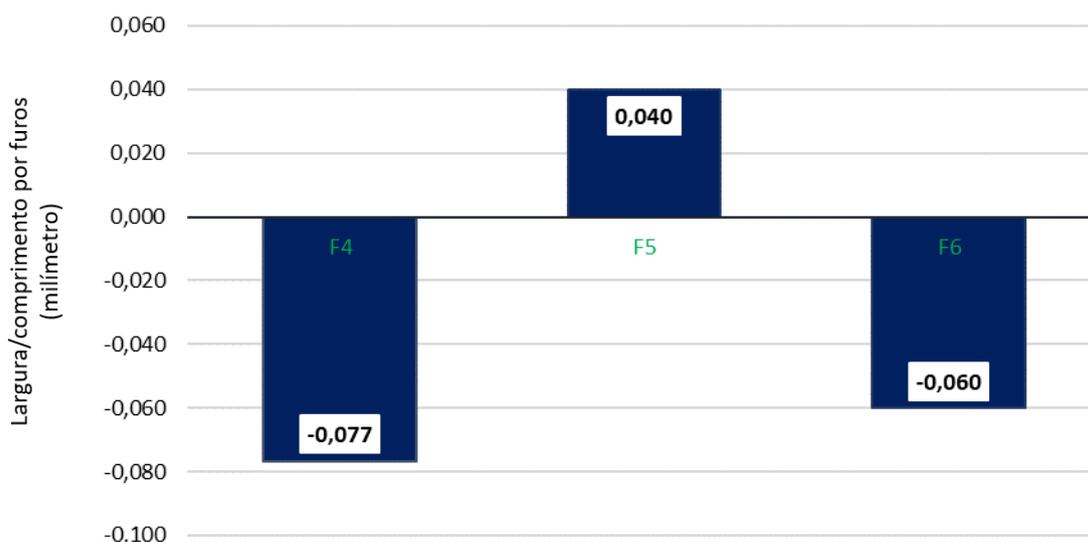


Figura 05: Variação Média da precisão do corte a Plasma em mm.
Fonte: Autoria própria (2021).

Em relação ao tempo de corte, foi possível observar uma relação de tempo crescente na execução das peças, onde o corte da peça seguinte sempre foi mais demorado do que a peça anteriormente executada. Ver Figura 06.

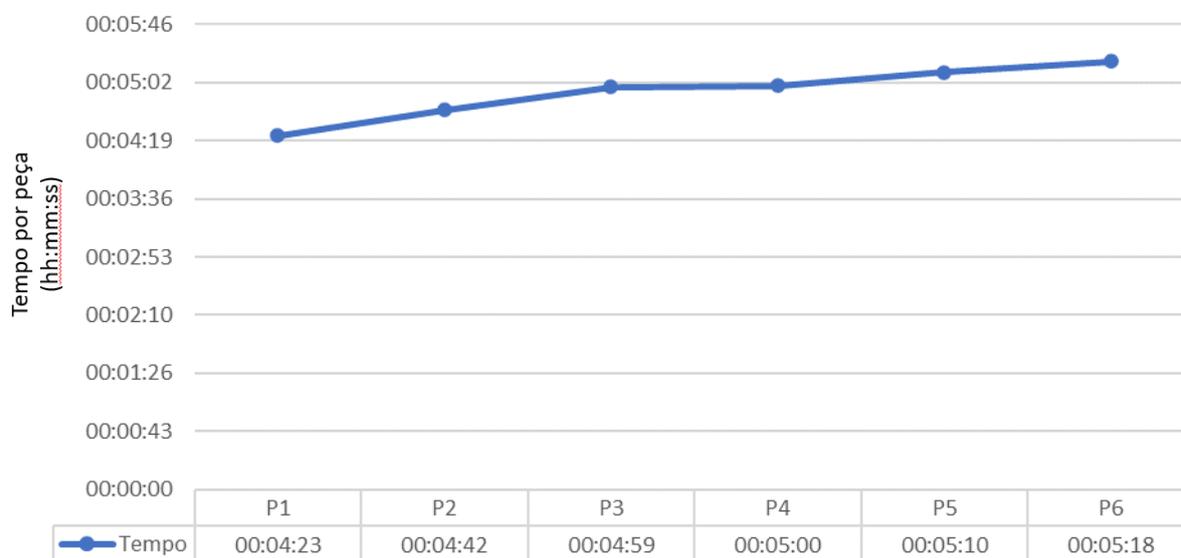


Figura 06: Variação Média do tempo de corte a Plasma.
Fonte: Autoria própria (2021).

Na Figura 07, exibe-se a representação visual das chapas cortadas a plasma.



Figura 07: Representação visual das chapas cortadas a plasma.
Fonte: Autoria própria (2021).

Quanto aos aspectos visuais deixados pelo processo de corte a plasma, é possível notar na Figura 07 uma alteração da coloração da chapa cortada para um tom mais amarelado. Além disso, o processo de corte deixa muitas rugosidades e ondulações na seção cortada.

4.2. ANÁLISE DO CORTE A LASER

O feixe do laser é essencialmente composto pela junção de três elementos primordiais, sendo o meio ativo, uma fonte de bombeamento energético e um ressonador óptico. No corte de aço a laser, há dois parâmetros fundamentais que devem ser escolhidos, que são a potência do laser e a velocidade de corte. Sabe-se que a capacidade do material que está sendo cortado está diretamente relacionada à potência utilizada (FERNANDES NETO, 2019).

Nas peças produzidas neste trabalho, foram encontradas pequenas variações nas peças cortadas a laser, em comparação às dimensões originais desejadas.

Tendo como base os furos F1, F2 e F7 e F8 com as dimensões 26x11,1 mm, observa-se que o furo F2 teve uma variação média do comprimento maior que os demais com +0,08 mm, sendo o sinal positivo indicativo para dimensão maior que a solicitada. Já o furo F1 teve a menor variação média no comprimento com +0,05 mm.

O furo F3 com dimensão 32,5x12,5 mm sofreu uma variação média maior quando comparado às variações dos furos F1, F2 e F7 e F8, no comprimento com +0,107 mm e na largura com +0,185 mm.

Para determinar a variação em mm, foi utilizado o mesmo método de análise que no plasma (Figura 08).

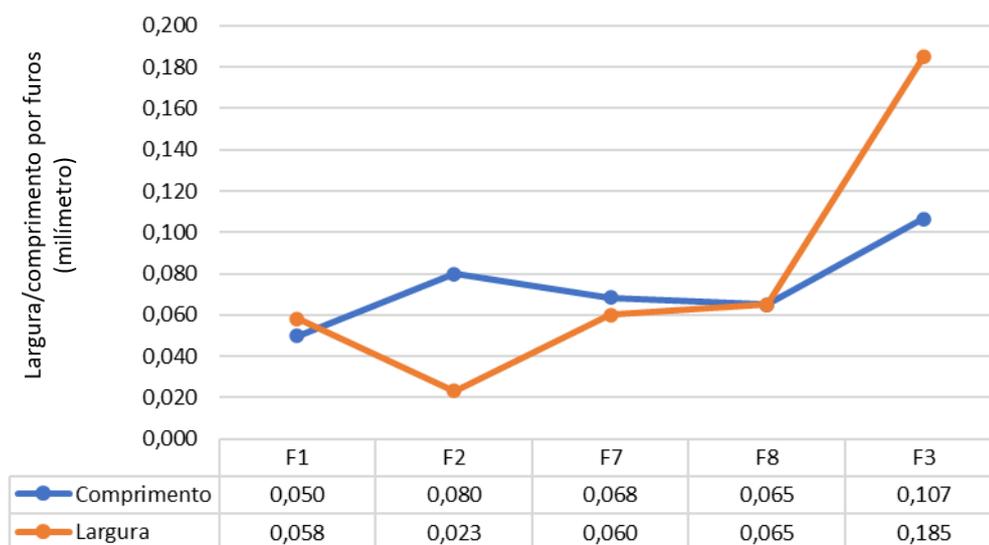


Figura 08: Variação Média da precisão do corte a Laser em mm.
Fonte: Autoria própria (2021).

Da mesma forma, constata-se sobre os furos circulares, F4, F5 e F6, com diâmetros 12,5mm. Observa-se uma crescente variação média respectiva entre os furos, como pode ser visualizado na Figura 09.

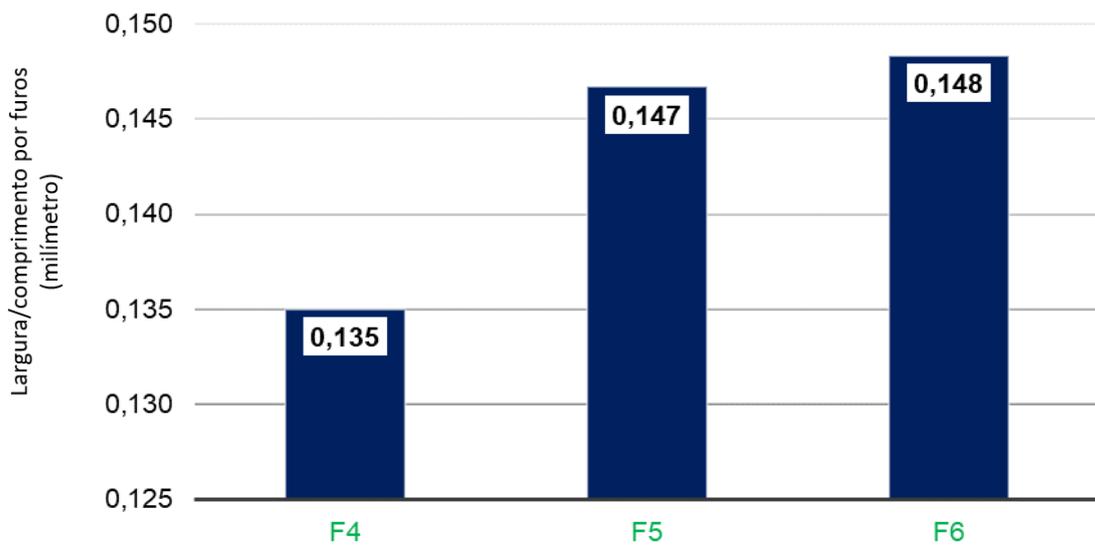


Figura 09: Variação Média da precisão do corte a Laser em mm.
Fonte: Autoria própria (2021).

No que diz respeito ao tempo de corte, foi possível notar uma similaridade entre as peças, com exceção na primeira, que apresentou um tempo menor e na última com um tempo maior (Figura 10).

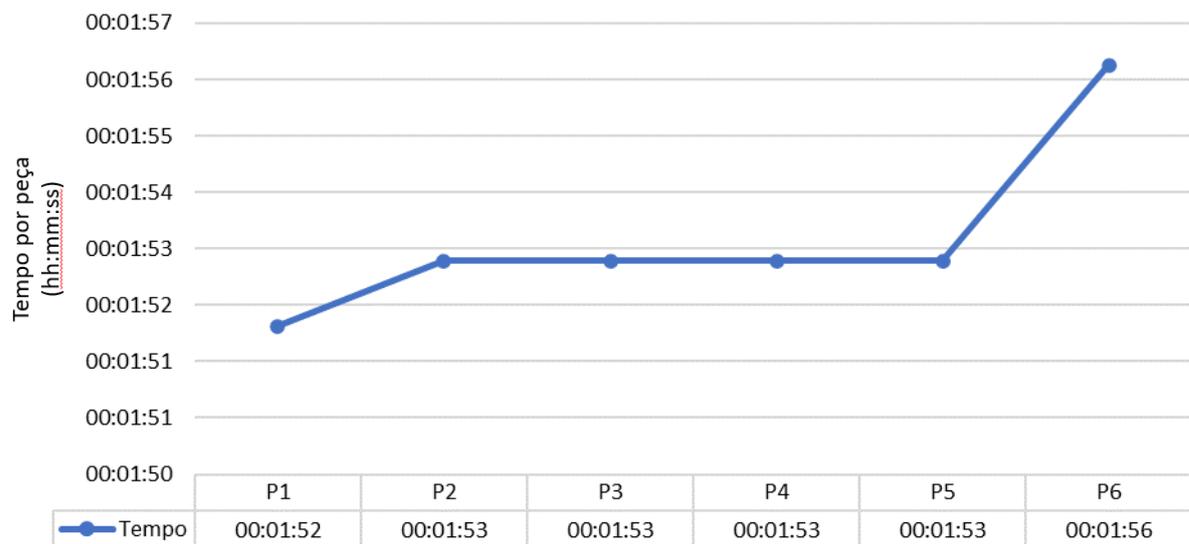


Figura 10: Variação Média do tempo de corte a Laser.
Fonte: Autoria própria (2021).

Outro ponto observado foi o aspecto visual deixado pelo corte a Laser (Figura 11).

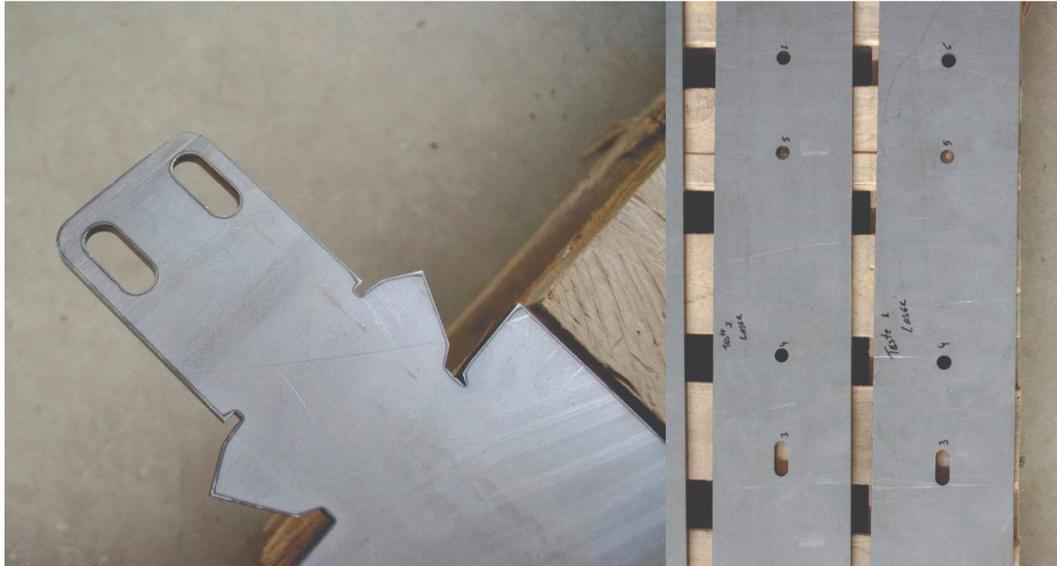


Figura 11: Representação visual das chapas cortadas a Laser.
Fonte: Autoria própria (2021).

Percebe-se, então, um acabamento superficial mais limpo, sem alteração da sua coloração e com ausência de rebarbas (escórias). Portanto, a peça não necessita do processo de usinagem para acabamento.

4.3. PLASMA VS LASER

Nas peças produzidas nos dois maquinários CNC, nota-se uma variação ponderável relacionada ao tempo de corte para cada unidade. Na Figura 12, mostra-se a duração gasta para cada corte, sendo que as barras em laranja representam o tempo do maquinário laser e as azuis do plasma. Em uma subtração básica, obtém-se a maior variação como 00:03:22 (três minutos e vinte e dois segundos); logo, o período gasto para cortar uma peça no plasma é 2,7 vezes superior ao corte a laser.

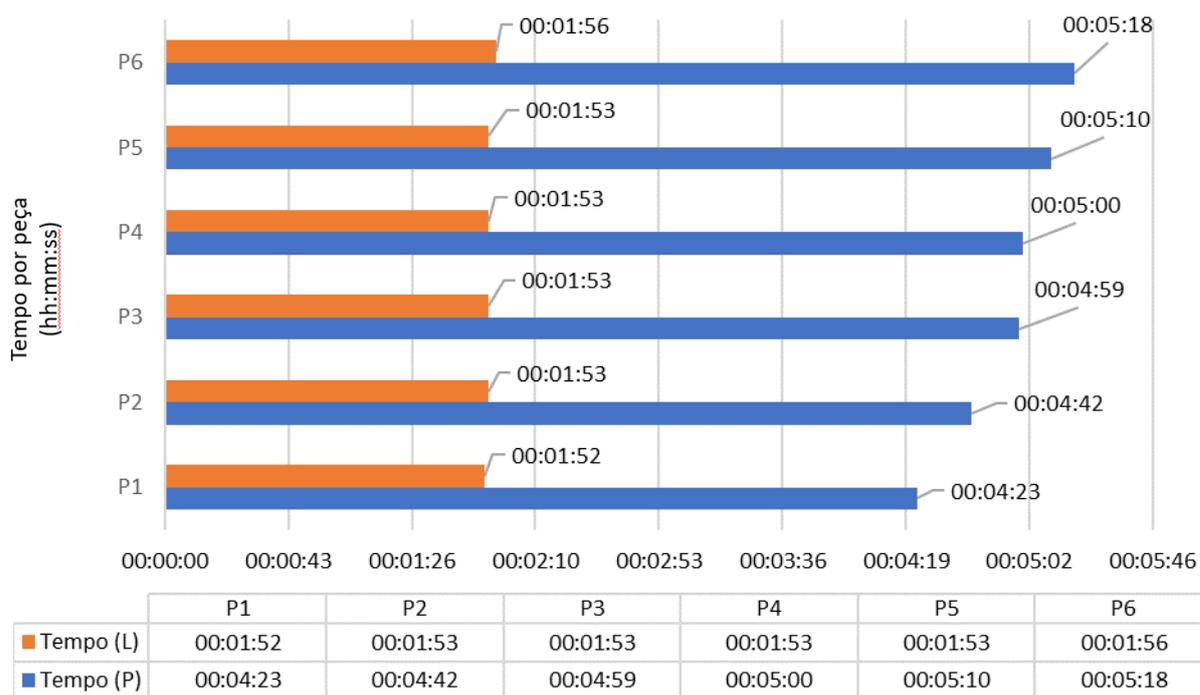


Figura 12: Comparativo de temporizador laser vs plasma.
Fonte: Autoria própria (2021).

Em uma comparação na precisão dos cortes, mesmo nos furos de maior consistência, observa-se uma divergência considerável do padrão original, visto que o furo mais consistente no plasma foi o furo 3 e no laser o furo 1. Para determinar a variação em mm, foi utilizado o mesmo método de análise anterior, ou seja, quanto mais próximo de 0, maior a precisão (Figura 13).

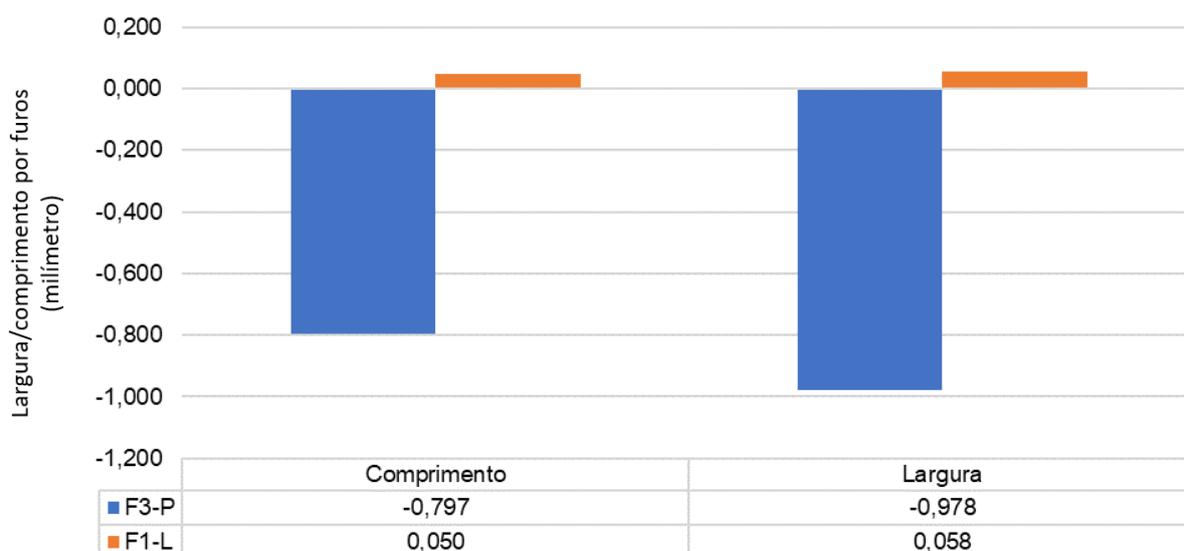


Figura 13: Comparativo entre os furos mais consistentes oblongos laser vs plasma.
Fonte: Autoria própria (2021).

Além disso, um comparativo entre a precisão dos furos circulares, F4, F5 e F6, mostra uma maior linearidade nos furos feitos a laser em comparação ao plasma, porém o plasma teve a média dos valores mais aproximados ao solicitado (Figura 14).

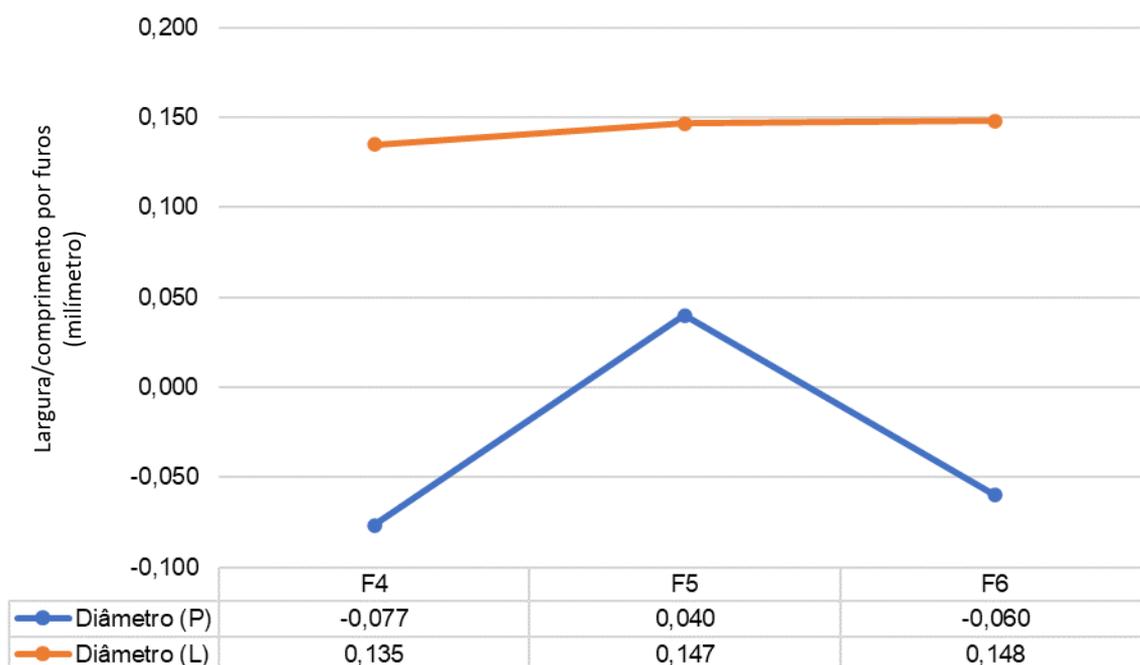


Figura 14: Comparativo entre os furos circulares de laser vs plasma.
Fonte: Autoria própria (2021).

Ademais, visualmente, percebe-se a diferença de acabamento entre os cortes - o corte à direita possui uma escória ao redor de toda a peça, com furos e corte externo; em contrapartida, a peça à esquerda apresenta um acabamento mais limpo e sem escória.



Figura 15: Representação visual das chapas cortadas a Laser a esquerda e a plasma a direita.
Fonte: Autoria própria (2021).

Logo, observa-se que a peça cortada no laser já está acabada e pode passar para próxima etapa de produção, e a cortada no plasma necessitará de um processo de usinagem para dar acabamento antes de dar continuidade à linha de produção.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se, a partir dos comparativos de tempo, que o laser se mostrou mais eficiente e constante para a realização dos cortes. Da mesma forma, em relação à precisão e à proximidade de dimensões, o laser e o plasma se mostram equivalentes. Vale ressaltar que para ambas as máquinas de corte existem parâmetros ideais para alcançar a sua melhor eficiência.

Como explicado anteriormente, no caso do plasma, é necessário que o furo possua um diâmetro duas vezes maior que a espessura da chapa. Contudo, mediante os cortes realizados, o laser é mais vantajoso. Assim, para uma produção em escala, o laser é indicado, pois a peça dispensa o processo de usinagem para acabamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL, Ivo Almeida. **Influência dos parâmetros de corte laser na qualidade da superfície cortada**. Orientador: Prof. Dr. Francisco José Gomes da Silva. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto/Portugal, 2018.

ANDRADE, Gabriel Giampietro de. **Soldagem a laser Nd: Yag pulsado no aço superaustenítico AISI 904L**. Orientador: Prof. Dr. Vicente Afonso Ventrella. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia - UNESP, Ilha Solteira, 2018.

ARAÚJO, Jamile Esne Brito de. Relação entre o filme “Tempos Modernos” e a 4ª Revolução Industrial. **Revista Direito no Cinema**, v. 1, n. 1, 2019.

BOETTCHER, Maicon. **Revolução Industrial: um pouco de história da indústria 1.0 até a indústria 4.0**. 26 nov. 2015. Site. Disponível em: <https://www.linkedin.com/pulse/revolu%C3%A7%C3%A3o-industrial-um-pouco-de-hist%C3%B3ria-da-10-at%C3%A9-boettcher/?originalSubdomain=pt>. Acesso em: 31 out. 2021.

BRESSER-PEREIRA, Luiz Carlos. Capital e organização no capitalismo tecnoburocrático. **Tempo Social, revista de sociologia da USP**, São Paulo, v. 26, n. 2, p. 165-185, 2014.

COELHO, Pedro Miguel Nogueira. **Rumo à indústria 4.0**. Orientador: Professor Doutor Cristóvão Silva. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia e gestão industrial) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra, Coimbra, 2016. Disponível em: <https://estudogeral.uc.pt/handle/10316/36992>. Acesso em: 28 mar. 2021.

CONRADO, Rafael Dallegrave. **Efeitos do corte por laser sobre a integridade superficial de um aço médio carbono**. Orientador: Prof. Dr. Rodrigo P. Zeilmann. 2014. 106 f. Dissertação (Mestrado em Mecânica) - Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2014.

COSTA, Kevin Rabêlo. **Projeto de uma fonte de corrente para máquinas de corte a plasma baseado no conversor CC-CC meia ponte**. Orientador: Prof. Dr. Cícero Marcos Tavares Cruz. 2018. 98 f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

DALFOVO, Michael Samir; LANA, Rogério Adilson; SILVEIRA, Amélia. Métodos quantitativos e qualitativos: um resgate teórico. **Revista Interdisciplinar Científica Aplicada**, Blumenau, v.2, n.4, p.01-13, 2008.

DIAS, Fabiana. **Terceira revolução industrial**. 28 dez. 2018. Site. Disponível em: <https://www.educamaisbrasil.com.br/enem/historia/terceira-revolucao-industrial>. Acesso em: 31 out. 2021.

ELIAS, Sérgio José Barbosa; MAGALHÃES, Liciane Carneiro. Contribuição da produção enxuta para obtenção da produção mais limpa. **XXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, Ouro Preto, 2003.

FERNANDES NETO, Haroldo. **Análise de parâmetros e eficiência de corte para configuração inicial de uma máquina a laser**. Orientador: Prof. Dr. Marcelo Vasconcelos de Carvalho. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Mecânica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2019.

GEHRKE, Irajá. **Estudo do efeito da normalização do fresamento de superfícies cortadas a plasma em aço ABNT 1045**. Orientador: Prof. Dr. Gil M. P. Chagas. 2019. 64 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnólogo em Fabricação Mecânica) - Curso Superior de Tecnologia em Fabricação Mecânica, Instituto Federal de Santa Catarina, Jaguará do Sul, 2019.

GIL, Antônio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. Ed. São Paulo: Editora Atlas, 2008.

INSTITUTO AÇO BRASIL. **A Siderurgia em Números 2020**. Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: https://institutoacobrasil.net.br/site/wp-content/uploads/2020/04/Mini_anuario_2020_completo.pdf. Acesso em: 28 mar. 2021.

KAUARK, Fabiana da Silva; MANHÃES, Fernanda Castro; MEDEIROS, Carlos Henrique. **Metodologia da pesquisa**: um guia prático. Itabuna: Via *Litterarum*, 2010.

MACHADO, Felipe Nery Rodrigues. **Big data**: o futuro dos dados e aplicações. São Paulo: Érica, 2018.

MOUGO, Adriane Lopes; CAMPOS, Guilherme Amaral do Prado; SILVA, Juan Carlos Assis da. Estudo da qualidade do corte a plasma automatizado para o aço AISI 304. **73º Congresso Anual da ABM - Internacional**, São Paulo, v. 73, n. 73, 2018.

NAKAYAMA, Ruy Somei. **Oportunidades de atuação na cadeia de fornecimento de sistemas de automação para indústria 4.0 no Brasil**. Orientador: Prof. Dr. Mauro de Mesquita Spínola. 2017. 240 p. Tese (Doutorado em Ciências) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

OLIVEIRA, Fernando Nascimento de; SOLLERO, Luiz Paulo Vervloet. Consumo de aço no Brasil: um modelo baseado na técnica de intensidade do uso. **Trabalhos para Discussão 358 - Banco Central do Brasil**, p. 1-66, 2014.

PAGATINI, Michel. **Implementação do índice de rendimento operacional global - IROG, em máquinas CNC de corte a laser**. Orientador: Prof. Msc. Paulo Alberto Klafke. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) - Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2017.

PEREIRA, Lucas Fernandes. **Sistema para controle automático de altura da tocha no processo de corte a plasma**. Orientador: Marcelo Barros. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017.

PICCOLI, Mariana; PACHECO, Joyson; BRANDI, Leonardo Barilli. Caracterização e definição de parâmetros de corte a laser em tubos de papelão: possibilidades de aplicação no *design* de produtos. **DAT Journal**, v. 2, n. 2, 2017.

PISCHING, Marcos A. *et al.* Arquitetura para desenvolvimento de sistemas *ciberfísicos* aplicados na indústria 4.0. **XIII Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente**, Porto Alegre, 2017.

PÓVOA, Paulo Victor Nogueira. **Aço inoxidável como material para equipamentos da indústria de alimentos**. 2017. Monografia (Graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017.

RAMOS, Paulo; RAMOS, Magda Maria; BUSNELLO, Saul José. **Manual prático de metodologia da pesquisa**: artigo, resenha, projeto, TCC, monografia, dissertação e tese. Blumenau: Acadêmica, 2005.

SACOMANO, José Benedito *et al.* (org.). **Indústria 4.0: Conceitos e fundamentos**. São Paulo: Blucher, 2019. 182 p.

SAKURAI, Ruudi; ZUCHI, Jederson Donizete. As revoluções industriais até a indústria 4.0. **Revista Interface Tecnológica**, v. 15, n. 2, p. 480-491, 2018.

SANTOS, Bruno P. *et al.* Internet das coisas: da teoria à prática. **Biblioteca Digital Faculdade Link**, 2016.

SANTOS FILHO, Olavo Ribeiro dos *et al.* Avaliação de juntas soldadas de um aço fundido de alta resistência para a indústria *offshore*. **Soldagem & Inspeção**, v. 23, n. 2, p. 205-224, 2018.

SANTOS, Wagner de Miranda. Aplicações do laser na indústria 4.0: processos de corte, solda, medição e rastreabilidade por meio de gravação direta de peças. **Revista Brasileira de Mecatrônica**, São Caetano do Sul, v. 3, n. 2, p. 15-35, 2020.

SILVA, Bruno Macedo da; GASPAROTTO, Angelita Moutin Segoria. A importância da qualidade na evolução do corte a plasma na indústria metalmeccânica. **VI SIMTEC - Simpósio de Tecnologia - Faculdade de Tecnologia de Taquaritinga**, 2019.

SOUZA, Clayton Emílio Duarte de. Vantagens e desvantagens do controle numérico computadorizado (CNC). **Uniube**, 2018.

SOUZA, Rafael Henrique de. **Redução do tempo de setup**: uma proposta de melhoria aplicada a uma empresa do setor metal mecânico. Orientador: Prof. Msc. Fernanda Cavicchioli Zola. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) - Centro de Tecnologia, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2016.

PROTEÇÃO CATÓDICA TÉCNICA DE COMBATE À CORROSÃO

Acadêmicos: Daniel Salles Geraldo e Willian Lopes Rosa

Orientador: Rieder de Oliveira Neto

Resumo

Desde o primeiro momento em que o homem utilizou os metais extraídos do meio ambiente, a partir dos minerais extraídos do solo, a corrosão passou a ser o maior causador da deterioração desses materiais. O fenômeno corrosivo é visto como a destruição dos materiais metálicos e não metálicos em contato com o meio ou ambiente, devido a interações químicas e/ou mecânicas. Proteção catódica representa a técnica que, por meio dos princípios da eletroquímica, altera a estrutura metálica que busca proteger em uma pilha artificial, procurando evitar que ocorra um processo de corrosão em determinada estrutura causando assim sua deterioração. Os testes para constatação e resultado do estudo foram realizados com o período de uma semana e teve a análise apresentada de acordo com o método proposto. Foram realizados quatro testes, sendo dois em solo úmido e dois em solo seco. Com base nos testes e resultados obtidos, conclui-se que a tecnologia de proteção catódica por corrente impressa é uma maneira segura de evitar a corrosão de estruturas enterradas no solo, independentemente do tipo de resistividade do solo. Sugere-se, então, que as organizações e instituições que disponham de materiais e conhecimento possam capacitar melhor seus alunos e profissionais a respeito de tecnologias que possam contribuir para a melhora da indústria em si e, conseqüentemente, a economia.

PALAVRAS-CHAVE: Corrosão; Proteção Catódica; Testes; Tubulações.

1 INTRODUÇÃO

Desde o primeiro momento em que o homem utilizou os metais extraídos do meio ambiente, a partir dos minerais extraídos do solo, a corrosão é o maior causador da deterioração desses materiais. (GENTIL, 2003).

Prejuízos causados pelos danos de corrosão, do ponto de vista econômico, alcançam custos altos, tanto direta quanto indiretamente, resultando em desperdício de investimento. Além disso, destacam-se os acidentes e perdas de vidas humanas, conseqüentemente provocados por contaminações e inexistência de segurança dos equipamentos. Mello (2011) destaca que 30% do material metálico produzido é direcionado a reposição ou reparos provenientes de corrosão.

Existem milhares de quilômetros de dutos de aço-carbono no mundo, enterrados para transporte de óleo, gás, água, combustível, pousas de minério etc.

Esses dutos estão expostos a todos os meios corrosivos, apresentando mecanismo de corrosão próprios e medidas anticorrosivas específicas.

Martins (2012) define o fenômeno da corrosão como a destruição dos materiais metálicos e não metálicos em contato com o meio ou ambiente, devido a interações químicas e/ou mecânicas.

As corrosões constituem umas das principais causas de falhas nesses dutos. Em torno de 15% a 30% de todas as falhas do processo corrosivo acarretam, no cotidiano, uma série de problemas, entre elas, rompimentos de adutoras, derramamento de petróleo, furos de tanques e oleodutos. Em instalações de petróleo e nas petroquímicas, 50% das falhas estão creditas à corrosão. (GENTIL, V 2003).

O entendimento dos processos corrosivos que atacam as instalações é importante, não somente pelo patrimônio que elas representam para as indústrias, mas também para o estudo adequado e perfeita aplicação das técnicas de combate à corrosão, tais como revestimento e proteção catódica. Cada método e técnica tem suas vantagens, desvantagens e limitações.

Para Ferreira (2002), as formas de corrosão apresentam-se considerando aparência e forma de ataque, assim como as suas causas, pois seu surgimento pode ser por diferentes motivos, os quais são apresentadas neste estudo.

Callister (2008) afirma que conhecer o tipo e os mecanismos que causam a corrosão torna mais fácil prevenir a sua ocorrência. A temática relacionada à corrosividade e seus agentes, todos relacionados a dutos enterrados, é um assunto que desperta interesse para a realização de diversos estudos, abrangendo várias áreas de concentração. Entre essas, está a engenharia, que busca soluções para minimizar possíveis perdas de produtos e desenvolver métodos de proteção para os dutos.

O presente trabalho visa mostrar como a proteção catódica e suas técnicas agem contra os processos corrosivos que prejudicam a integridade de estruturas de relevante importância para as indústrias.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 CORROSÃO

De acordo com Gentil (2007), a corrosão é a deterioração de um material, geralmente metálico, por ação química ou eletroquímica do meio ambiente associada ou não a esforços mecânicos.

De acordo com Telles (2012), o fenômeno de corrosão determina a destruição dos metais por uma ação química ou eletroquímica do meio. O mecanismo químico da corrosão tem uma delimitação menor que o mecanismo eletroquímico, pois o ocorre por meio da reação química do metal com o agente corrosivo.

Com base em Ferreira (2002), as formas de corrosão podem ser apresentadas considerando a aparência ou forma de ataque, bem como as diferentes causas da corrosão. É importante conhecer a diferença entre a corrosão química e eletroquímica, haja vista que a presente pesquisa trata do combate à corrosão eletroquímica. Baptista e Castinheiras (2009) definem que os processos de corrosão química ocorrem em algumas condições como em altas temperaturas (acima do ponto de orvalho da água), em ausência de água e na interação direta metal/meio.

Rodrigues (2010) alerta que a corrosão de equipamentos ou estruturas metálicas em ambiente marinho ou enterrado pode gerar danos irreparáveis ao meio ambiente e aos seres vivos que neles habitam ou que dele dependem.

Gentil (2007) afirma que o solo é um dos meios corrosivos mais complicados de se estudar, pois é difícil estabelecer, antecipadamente, como será sua ação agressiva para os materiais metálicos. Devido à dificuldade em compreender esse ambiente corrosivo, ele ainda não é muito investigado se comparado a outros meios corrosivos, como, por exemplo, soluções aquosas simulando águas marítimas.

Rodrigues (2006) afirma que o estudo da corrosão tem grande interesse tecnológico devido ao elevado custo relacionado com as perdas econômicas, principalmente nos países desenvolvidos, nos quais os processos de prevenção contra a corrosão são mais aplicados, ao custo anual de milhões de dólares.

2.1.1 Tipos de Corrosão

Os tipos de corrosão de natureza eletroquímica recebem designações diferentes, de acordo com as condições particulares em que se processam, com a

natureza do meio corrosivo, com o tipo dos metais e, até mesmo, com os aspectos da corrosão.

Dutra e Nunes (2006) defendem que a corrosão eletroquímica acontece quando se tem uma estrutura em contato com um eletrólito, por surgirem pilhas de corrosão, as quais criam áreas anódicas e catódicas podendo ser referentes ao metal ou ao meio. Logo que essas áreas são criadas, em presença do eletrólito, tem-se o fluxo de corrente que constitui a corrosão eletroquímica.

Dutra (2011) afirma que os principais tipos de corrosões são estes:

- a) Corrosão galvânica: Processo corrosivo resultante do contato elétrico de materiais diferentes com um eletrólito.
- b) Corrosão em frestas: Processo corrosivo resultante da aeração diferencial ou concentração diferencial, geralmente ocorre em juntas soldadas com chapas sobrepostas.
- c) Corrosão atmosférica: Processo corrosivo resultante da umidade relativa do ar, com o teor de sais em suspensões e o teor de gases poluentes.
- d) Corrosão do solo: Processo corrosivo observado em estruturas enterradas devido ao teor da umidade, a composição química e ao pH do solo.
- e) Corrosão pela água: Processo corrosivo resultante do contato de estruturas com o meio aquoso.
- f) Corrosão por bactérias ou corrosão microbiológica: Processo corrosivo desenvolvido por certos tipos de bactérias.
- g) Corrosão eletrolítica: Processo corrosivo em estruturas metálicas enterradas, resultante de um fluxo indesejável de corrente contínua.
- h) Corrosão em concreto: Processo corrosivo observado na ferrugem de reforço do concreto armado ou na argamassa de cimento.
- i) Corrosão sob fadiga: Processo corrosivo decorrente do desgaste mecânico dos materiais sujeitos a esforços cíclicos.
- j) Corrosão sob tensão: Processo corrosivo decorrente das tensões estáticas de tração.

2.2 PROTEÇÃO CATÓDICA

É um tipo de proteção que atende aos princípios do mecanismo da corrosão eletroquímica, ou seja, ocorre sempre que se tem contato entre uma estrutura metálica e um eletrólito, na qual se formam pilhas de corrosão (área anódicas e catódicas), pela diferença dos metais, tensões internas ou diferença na composição do eletrólito (SILVA, 2007). Conforme esquema apresentado na Figura 1.

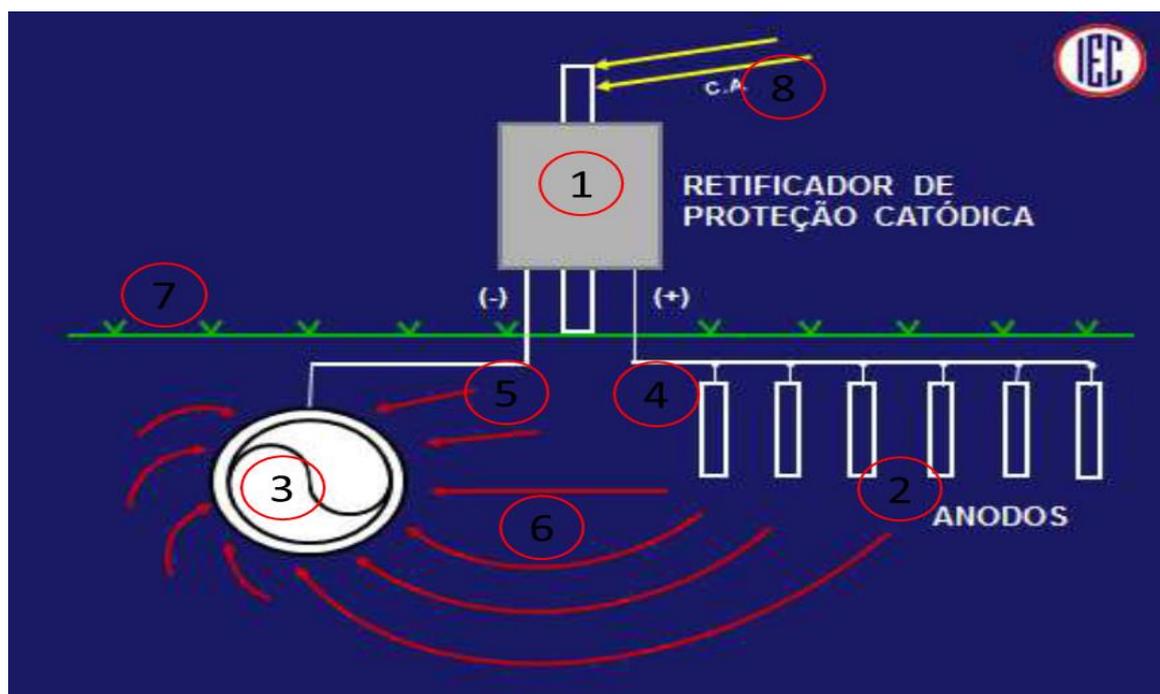


Figura 1: Esquema Típico de Funcionamento de um Sistema de Proteção Catódica por Corrente Impressa.

Fonte: Artigo Técnico ABRACO - Proteção Catódica, Interferências Elétricas e Interferências Eletromagnéticas

A proteção catódica não é uma técnica recente, sendo utilizada há muitos anos nos países mais desenvolvidos. Ela foi empregada, pela primeira vez, na Inglaterra, em 1824, por Sir Humphrey Davy para retardar a corrosão das chapas de revestimento dos cascos de madeiras dos navios da época, eram fixados em suas estruturas blocos de outros materiais, como ferro, zinco. (DUTRA; NUNES, 2020).

No Brasil, o início efetivo de sua utilização se deu por volta de 1966, com a construção do Terminal de São Sebastião-SP, da Petrobras. (DUTRA, NUNES, 2020).

Baptista e Castinheiras (2009) defendem o uso da proteção catódica para combater a corrosão de instalações metálicas enterradas ou submersas, pois, em

comparação ao valor de tais instalações, ela é empregada atualmente a um custo reduzido.

Para Dutra e Nunes (1999) a proteção catódica representa a técnica que, por meio dos princípios da eletroquímica, altera a estrutura metálica que busca proteger em uma pilha artificial, procurando evitar que ocorra um processo de corrosão em determinada estrutura causando, assim, sua deterioração.

Em outra definição um processo de forçar um metal a ser mais negativo (catódico) que seu estado natural. Se o metal for suficientemente forçado negativamente, a corrosão cessará (DUTRA e NUNES, 1999).

Segundo Gentil (2007), para aplicar a proteção catódica são utilizados dois sistemas, ambos baseados no mesmo princípio de funcionamento: o de injeção de corrente elétrica na estrutura através do eletrólito, da proteção catódica galvânica por ânodos galvânicos ou de sacrifício e o da proteção catódica por corrente impressa ou forçada.

2.2.1 Proteção Catódica por corrente impressa

Proteção catódica, por corrente impressa, é onde o processo do fluxo de corrente fornecido é decorrente da força eletromotriz de uma fonte geradora de corrente elétrica contínua, sendo muito utilizado na prática os retificadores que, alimentados com corrente alternada, geram a corrente elétrica contínua necessária à proteção da estrutura metálica. Para a dispersão desta corrente elétrica no eletrólito, são utilizados anodos especiais inertes, ou seja, anodos que apresentam um desgaste muito baixo (DUTRA, NUNES, 1999).

Sistemas de proteção catódica por corrente impressa: Quando duas tubulações enterradas se encontram muito próximas, ou cruzam-se e apenas uma delas tem proteção catódica, a outra poderá captar parte da corrente de proteção, em determinado trecho, e descarregá-la em outro, para a tubulação protegida, dando origem à corrosão eletrolítica; sistema de tração eletrificada em corrente contínua que em geral, nestes sistemas se tem o retorno da corrente pelos trilhos e, como eles se encontram em contato com o solo, parte resultante de emenda deficiente dos trilhos. Quando há estruturas metálicas enterradas nas vizinhanças, estas podem ficar sujeitas aos mesmos problemas de corrosão eletrolítica e correntes telúricas, pois é sabido que estruturas de grande porte sofrem a influência de correntes provenientes da variação e do deslocamento do campo magnético da Terra. (DUTRA; NUNES, 2006, p. 161).

2.2.2. Proteção catódica com anodos galvânicos

Na proteção por anodo de sacrifício, ou proteção catódica galvânica, o fluxo de corrente elétrica é originado da diferença de potenciais de redução entre o metal a ser protegido e outro escolhido como anodo, com a função de proteger. A estrutura a ser protegida é ligada a um metal mais ativo, como o Zinco, imerso no eletrólito. O resultado é uma pilha galvânica na qual o metal ativo trabalha como anodo, promovendo um fluxo de elétrons para a estrutura, que se torna catódica. Nesse caso, o anodo é destruído progressivamente, promovendo a proteção da estrutura (RODRIGUES, 2005).

3 METODOLOGIA

Para início dos estudos, foi desenvolvida uma pesquisa bibliográfica em livros, revistas científicas, artigos publicados e outros, para melhor compreensão do assunto (FONSECA, 2002).

A pesquisa bibliográfica é feita a partir do levantamento de referências teóricas já analisadas, e publicadas por meios escritos e eletrônicos, como livros, artigos científicos, páginas de web sites. Qualquer trabalho científico inicia-se com uma pesquisa bibliográfica, que permite ao pesquisador conhecer o que já se estudou sobre o assunto. Existem, porém, pesquisas científicas que se baseiam unicamente na pesquisa bibliográfica, procurando referências teóricas publicadas com o objetivo de recolher informações ou conhecimentos prévios sobre o problema a respeito do qual se procura a resposta (FONSECA, 2002, p. 32).

O estudo caracterizou-se como descritivo quanto aos fins e de campo quanto aos meios (VERGARA, 2009). Segundo Hair, Babin, Money e Samouel (2005), a pesquisa descritiva descreve alguma situação por meio da mensuração de um evento ou atividade.

Os testes para constatação e resultado do estudo foram realizados com o período de uma semana e receberam a análise de acordo com o método proposto.

A empresa — na qual este estudo sobre qualidade e eficácia da proteção catódica por corrente impressa a uma estrutura — mantém unidades industriais em dois estados brasileiros, com operações realizadas de forma integradas e simultâneas. As duas unidades industriais são interligadas por minerodutos, com aproximadamente 400 km de extensão cada, que transportam a polpa de minério de ferro entre os dois estados passando por 25 municípios.

Foram realizados testes em dois retificadores: retificador 03 km 148 localizado no Córrego Pedra Branca zona rural do município de Pedra Bonita MG e retificador 18 km 394, localizado na Estrada de Jabaquara, zona rural do município de Anchieta ES. Esses dois retificadores foram escolhidos por estarem instalados em tipos de solos diferentes.

De acordo com Dutra (2011), correntes dispersas podem aparecer em dutos enterrados. Dessa maneira, uma estrutura metálica pode captar parte da corrente de um sistema de proteção catódica, gerando uma corrosão eletrolítica.

Grandes instalações, como dutos enterrados, usam sistemas de proteção catódica do tipo corrente impressa. Nesse sistema, a diferença de potencial necessária para garantir a proteção é fornecida por uma fonte de alimentação de corrente contínua, nesse caso um retificador. O retificador é o principal componente do sistema e sua estrutura é protegida durante a operação.

O terminal negativo da saída do retificador é conectado à estrutura e o terminal positivo é conectado ao leito de anodo, conforme esquema apresentado na Figura 2. Desse modo, o potencial da estrutura fica negativo em relação ao solo protegendo-a do processo de corrosão.

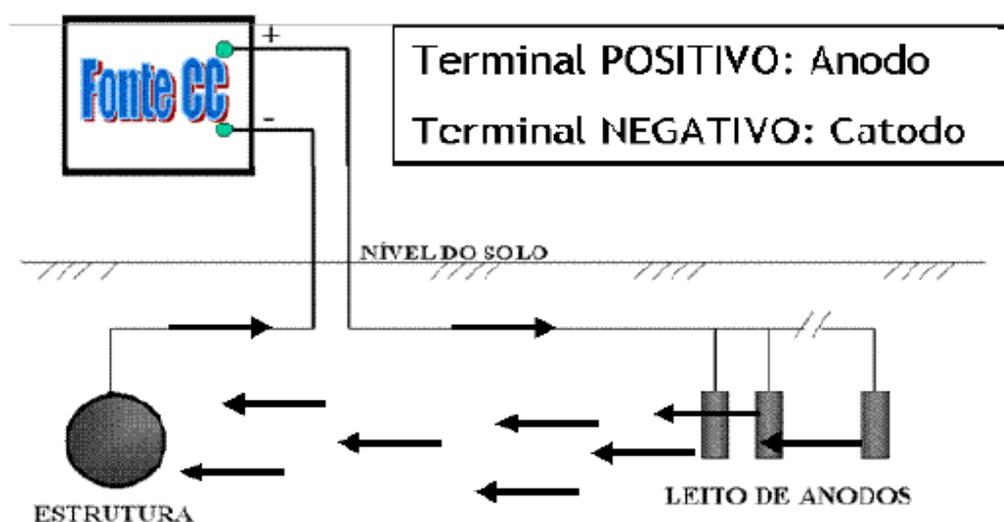


Figura 2 – Ligação de retificador, leito de anodos e estrutura.
Fonte: Sistema de Proteção Catódica – Mineroduto Vale.

Verifica-se, por meio de medições de potencial tubo/solo, a eficiência da proteção catódica de dutos enterrados. Esse potencial é usualmente medido com um eletrodo de referência de cobre/sulfato de cobre instalado diretamente no solo sobre a tubulação.

3.1 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

O trabalho desenvolvido pode ser descrito conforme os seguintes tópicos abaixo:

- Roteiro metodológico;
- Instrumentos utilizados;
- Obtenção da resistividade do solo;
- Levantamento de Dados da estrutura;
- Coleta de dados dos potenciais on/off nos retificadores.

3.1.1 Roteiro metodológico

- Para execução do projeto, aplicou-se o seguinte metodológico:
- Parâmetros obtidos em campo;
- Resistividade do solo;
- Obtenção da corrente estrutura/solo;
- Obtenção da corrente necessária para proteção da estrutura em condições de circuito ligado (on);
- Obtenção da corrente necessária para proteção da estrutura em condições de circuito desligado (Off).

3.1.2 Instrumentos utilizados

Para desenvolvimento de um teste confiável, é importante monitorar a eficácia da proteção catódica. Para obter resultados satisfatórios, os seguintes instrumentos industriais foram listados por Dutra (2011, p. 273):

- a) Retificadores: fornecem a corrente necessária para promover o equilíbrio de potencial estrutura-eletrólito, impedindo assim a reação de oxidação;
- b) Medidores eletrônicos de múltiplas funções (Multímetros digital): fornecem as medições de potencial, corrente e resistência;

- c) Medidores de resistência elétrica (terrômetro ou telurímetro): fornecem a resistividade do solo, possuem conversores que transformam a corrente contínua em corrente alternada com frequência e tensão já determinadas;
- d) Registradores: executam o processamento interno para registrar simultaneamente os dados coletados;
- e) Interruptores: utilizados para acionar ou desligar automaticamente a fonte de corrente; para o sistema de proteção catódica;
- f) Eletrodos de referência: dispositivos que determinam o potencial de uma estrutura em relação ao meio, a fim de avaliar a condição do material metálico;
- g) Cabos e carretéis: utilizado para informar os potenciais de uma estrutura em relação ao eletrodo de referência.

3.1.3 Obtenção da resistividade do solo

No que se refere ao perfil de agressividade do solo, ao implantar um sistema de proteção catódica, faz-se necessário o estudo aprofundado do aspecto citado. As medições de resistividade elétrica do solo foram feitas pelo método Wenner (4 pinos), de acordo com a Norma NBR-7117 da ABNT. O método consiste, basicamente, no cravamento no solo de 4 hastes metálicas alinhadas e dispostas simetricamente em relação ao ponto de medição no solo, espaçadas de uma distância “D” em centímetros. Tal distância “D” corresponde à profundidade de medição no solo requerida.

Como um método comparativo para determinar a taxa de corrosão do solo por meio de dados de resistividade e pH do solo, são utilizados os dados fornecidos pelo sistema de informação de água subterrânea (SIAGAS, 2019).

De acordo com os dados de localização aproximados do caso estudado, podem-se obter dados do poço para mostrar o tipo de solo e suas características. Portanto, o gráfico da Figura 3 é utilizado para obter a taxa de corrosão aproximada do aço com base no valor de resistividade mínima do solo, o local em consideração, e seu valor de pH.

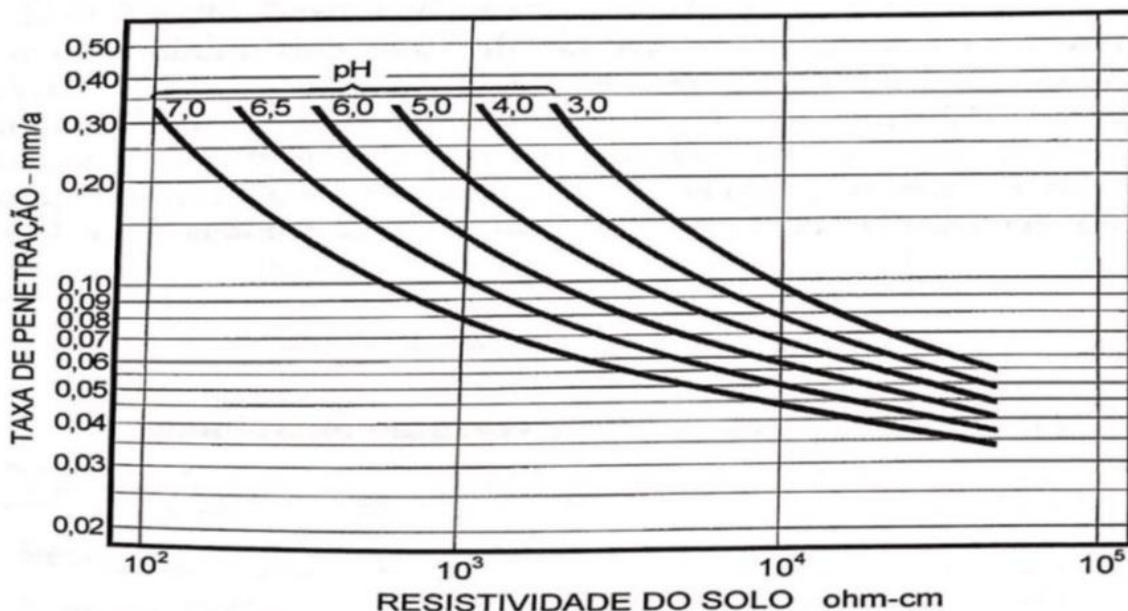


Figura 3: Taxa de corrosão do aço, em função da resistividade mínima e do pH do solo.
Fonte: (DUTRA, 2011).

3.1.4 Levantamento de dados da estrutura

O levantamento de dados dessa estrutura inclui a coleta de informações sobre as características físicas da tubulação, fornecidas pela empresa que opera esse sistema. Esse conhecimento é útil para descrever o sistema de proteção catódica para avaliação antes da operação, de modo a compreender a estrutura, componentes e desempenho do sistema. Para avaliar a corrosividade do eletrólito com mais eficiência, deve-se utilizar uma tabela que contém os valores que determinam a resistividade com base no potencial associado ao eletrodo Cu / CuSO₄.

3.1.5 Coleta de dados dos potenciais

A Inspeção de Potencial foi realizada medindo-se o potencial tubo/solo com auxílio de uma semicélula de cobre/sulfato de cobre conectadas a um equipamento registrador digital e a um ponto de teste de proteção catódica ou a um outro ponto de contato com a tubulação. Esta técnica é usada para se obter um perfil do potencial tubo/solo On e Off.

Para esta inspeção, são utilizados voltímetros/microprocessadores que gravam e armazenam dados do potencial tubo/solo com capacidade adicional de armazenar dados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta etapa serão abordados os resultados obtidos com a metodologia proposta e discutidos de acordo com a teoria acerca da tecnologia de proteção catódica em combate a corrosão tubo/solo.

Para a comprovação da eficiência da proteção catódica durante a operação da estrutura protegida, são indicados alguns testes, sendo o mais utilizado a medição do potencial da estrutura em relação ao meio corrosivo.

As tubulações enterradas são consideradas catodicamente protegidas quando os potenciais tubo/solo "OFF" medidos forem iguais ou mais negativos $-0,85$ Vcc em relação à semicélula de Cu/CuSO₄. Se possível, deve-se tentar limitar o potencial OFF ao teto de $-1,20$ Vcc, em relação ao eletrodo de referência de Cu/CuSO₄.

Esses valores são definidos dentro dessa faixa etária decorrente do tipo de material a ser utilizado na estrutura, onde esse material possui uma serie galvânica de polarização juntamente com a referência da semicélula de cobre/sulfato de cobre, chegou se a esse valor de proteção. Cada material possui seu limite inferior e superior de proteção para ser considerado protegido catodicamente.

Os testes foram realizados apenas em uma parte da tubulação, por esse motivo não poderão se considerar os valores acima como referência para que o tubo esteja catodicamente protegido; pois os valores acima referem a tubulação como um todo.

Como demonstrado na Figura 4.

- Semicélula fixada ao solo;
- Cabo da semicélula no polo negativo do multímetro;
- Cabo positivo do multímetro na estrutura a ser medida seu potencial.

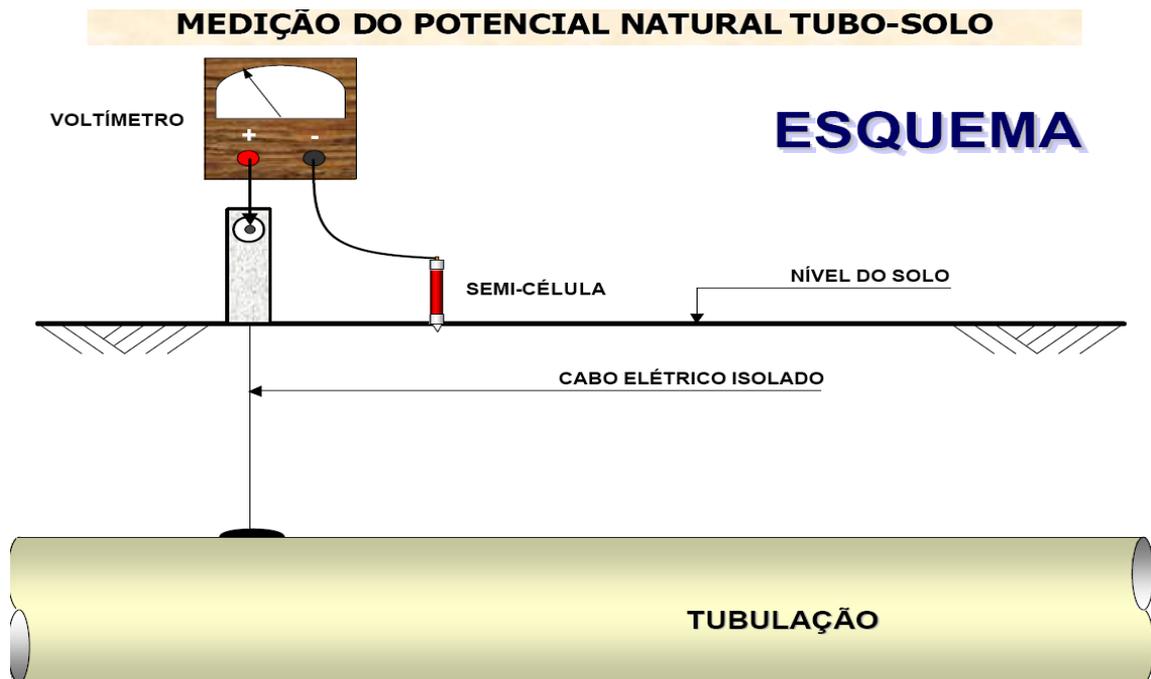


Figura 4: Esquema do modelo de medição do potencial tubo / solo.
Fonte: Sistema Proteção Catódica – Mineroduto Vale.

4.1 REALIZAÇÃO DOS TESTES

Foram realizados quatro testes, sendo dois em solo úmido e dois em solo seco.

Dois testes foram realizados, no retificador 03 km 148, localizado no córrego Pedra Branca, zona rural do município de Pedra Branca estado de Minas Gerais.

O solo onde o retificador está instalado tem uma alta resistividade.

O primeiro teste, foi realizado em um dia ensolarado, o solo estava seco; a tensão de alimentação do retificador foi 230 Vca e a tensão de saída foi 36,30 Vcc e Corrente: 1,20 Ac, Corrente: 3,6 Dc.

O segundo teste realizado, Retificador 03, estava com o clima chuvoso, portanto o solo estava úmido. Foram colhidos os seguintes dados: tensão de alimentação do retificador: 230 VCa, e tensão de saída do retificador: 36,30 Vcc; Corrente: 1,20 Ac Corrente: 3,60 Dc.

Outros dois testes foram realizados retificador 18, km 394 localizado na Estrada de Jabaquara, zona rural do município de Anchieta ES. O solo onde está instalado esse retificador é um solo com baixa resistividade, devido à proximidade com o mar. No primeiro teste realizado no retificador 18, fora obtido os seguintes

dados: tensão de alimentação do retificador: 246,10 VCa. Tensão de saída do retificador: 12,95 Vcc corrente: 5,10 Ac. corrente: 46,20 Dc.

O segundo teste realizado no retificador 18 foi feito em um dia úmido e foram colhidos os seguintes dados: tensão de alimentação do retificador: 246,10 VCa; tensão de saída do retificador: 12,95 Vcc; Corrente: 5,10 Ac; Corrente: 46,20 Dc.

A Figura 5 apresenta os resultados obtidos através dos testes:

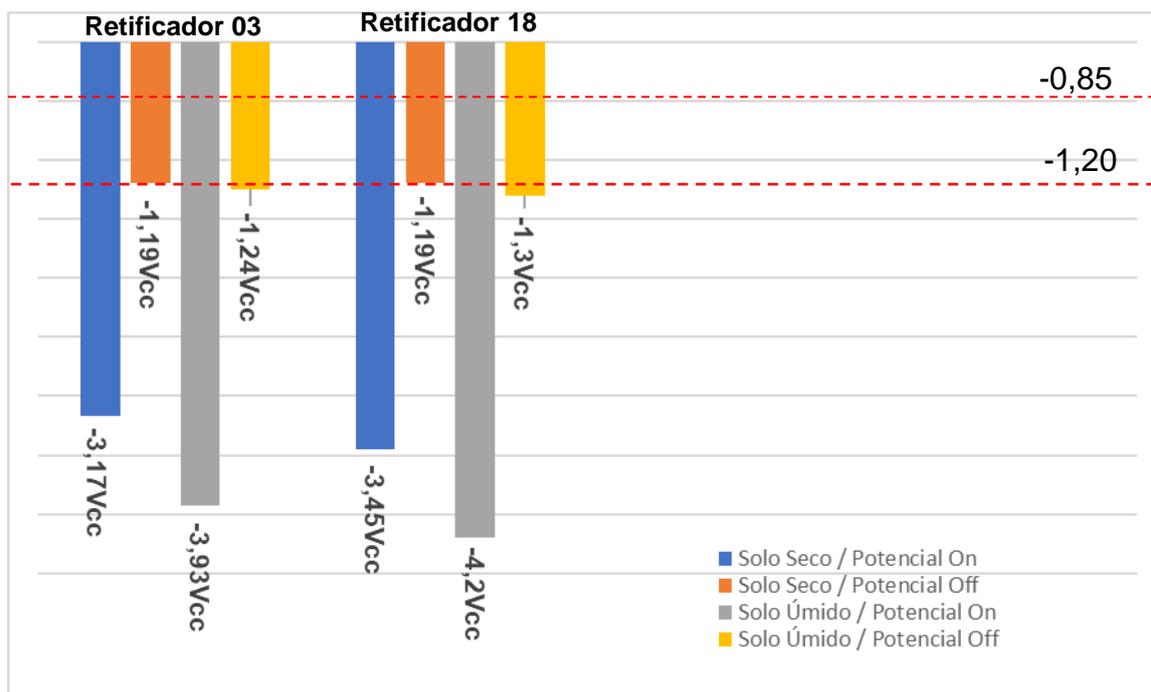


Figura 5: Testes feitos nos retificadores 03 e 18, com os valores de potenciais on/off.

Fonte: Dados elaborados pelos autores (2021)

Sendo assim, ambos os retificadores apresentaram valores de operação dentro do padrão desejável de proteção, proporcionando eficácia na estrutura a ser protegida — mesmo em locais distintos em relação ao tipo de solo e sua resistividade ôhmica e o tipo de clima apresentado no local. O solo possui um tipo de resistividade natural no estado seco. Quando há alteração para o período chuvoso e o solo fica úmido, há uma alteração na resistividade do solo e ela fica mais baixa. Essa alteração na resistividade do solo altera os valores dos potenciais, principalmente do off, pois com a baixa resistividade a corrente flui melhor. A resistividade, na verdade, é uma barreira natural do solo em que, no estado seco, há maior resistividade e no estado úmido, menor resistividade. Quando isso ocorre, e necessário regular novamente o retificador, esse sistema de corrente impressa

permite regulagem de injeção de corrente na estrutura de acordo com o desejável no projeto.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O processo corrosivo nas tubulações enterradas no solo causa prejuízos econômicos e muitos problemas às organizações e ao meio ambiente.

Com base nos testes e resultados obtidos, conclui-se que a tecnologia de proteção catódica por corrente impressa é uma maneira segura de evitar a corrosão de estruturas enterradas no solo, independentemente do tipo de resistividade do solo. Quanto à abordagem teórica, foram apresentados os diversos tipos de corrosão, descrevendo como acontecem, quais suas consequências e quais os tipos de proteção catódica. Também foi apresentada a maneira como cada uma é aplicada e sua eficácia.

Essa tecnologia foi trazida para o Brasil há algumas décadas. Todavia, conforme se verificou neste estudo, ainda é pouco utilizada e, até mesmo, desconhecida por organizações e profissionais da área e instituições de ensino. As referências a respeito do assunto encontradas para esse estudo foram de poucos autores, o que levou a essa conclusão. Um dos motivos atribuídos a isso pode ser seu alto valor de custo para implantação, limitando, assim, as organizações que desejam adquiri-la. Outra razão também poderia ser o desconhecimento dos profissionais voltados para a área mecânica e tecnológica.

Sugere-se, então, que as organizações e instituições que disponham de materiais e conhecimento possam capacitar melhor seus alunos e profissionais a respeito de tecnologias que possam contribuir para a melhora da indústria em si e, conseqüentemente, da economia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAPTISTA, W.; CASTINHEIRAS, W. G. C. Corrosão e proteção catódica. In: GOMES, M.G.F.M.; FREIRE, J.L. **Engenharia de dutos**. Rio de Janeiro: Ponto Final, 2009. p. 11.26.

Callister, Jr. Ciência, W. D. **engenharia dos materiais uma introdução**, 7 edição. Rio de Janeiro: LTC. (2008).

DUTRA, C. D. **Proteção Catódica: Técnica de Combate a Corrosão**, 6ed, Rio de Janeiro: Interciência, 2011.

DUTRA, A.C., NUNES, L.P. **Proteção catódica: técnica de combate à corrosão**. - 3. ed. - Rio de Janeiro – Interciência, 1999.

DUTRA, A. C.; NUNES, L. de P. **Proteção catódica: técnica de combate à corrosão**. 4.ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2006.

GENTIL, Vicente. **Corrosão**. 4. ed. – Rio de Janeiro: LTC, 2003.

GENTIL, V. **Corrosão**. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC. (2007).

GENTIL, V. **Corrosão**. 6 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 2011

HAIR, J. F. Jr. Babin, B., Money A. H., & Samouel. P **Fundamentos de métodos de pesquisa em administração** (L. Ribeiro, Trad.).Porto Alegre: Bookman.(Obra original publicada em2003), 2005.

MARTINS, J. I. F. P. **A corrosão: a outra perspectiva de abordagem**. Corrosão e Proteção de Materiais, v. 31, n. 59, 2012.

MELLO, Lívia da Silva. Estudo de corrosão localizada dos aços inoxidáveis em sistemas de resfriamento industrial. Universidade Federal do Rio de Janeiro: Rio de Janeiro, 2011.

RODRIGUES, Joaquim Correia. **Anodos de sacrifício para proteção catódica em estrutura de concreto armado**. 2005. 84 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Metalúrgica e de Materiais., Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

RODRIGUES, T. de C. **Efeito de potencial de proteção catódica sobre a biocorrosão de aço-carbono em solo contendo BRS**. Rio de Janeiro, 2010. 145p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Escola de Química, 2010.

SILVA, N.S.; **Estudo da corrosão no solo de aços para dutos protegidos catodicamente**. Escola de Engenharia, Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

TELLES, P.C.S. **Materiais para Equipamentos de Processo**. 9. ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2012.

PROJETO E FABRICAÇÃO DE UMA BANCADA DIDÁTICA PARA ESTUDOS DE UM MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA

Acadêmicos: Cayo henrique de Azevedo Soares e Lucas Gomes de Souza
Orientador: Rafael Nascimento Lopes

Resumo

As bancadas didáticas tornaram-se fundamentais para a formação de novos acadêmicos, buscando mostrar ao aluno uma realidade mais próxima do trabalho em campo. Assim, o presente trabalho tem por objetivo o desenvolvimento de uma bancada didática com um motor ciclo Otto de 4 tempos operando em tempo real para buscar o engajamento dos alunos ao longo do curso e auxiliando o que se pode ocorrer através da simulação real do sistema. Com isso, os laboratórios que possuem as bancadas podem aproximar o aluno da ciência e tecnologia e as ferramentas dos engenheiros para que assim busque o atendimento das necessidades humanas. Para isto, foi utilizado um motor EA827 ou mais conhecido AP 1.6 (Alta performance), o presente motor passou por etapas corte no bloco e cabeçote buscando a visualização dos componentes internos. Para o funcionamento foi utilizado um motor elétrico de 0,5 CV e um redutor 1/23 com uma relação de polias, buscando reduzir a velocidade final para uma observação de maneira lenta e didática de todos os componentes em funcionamento. Portanto com banca didática o docente poderá conciliar o conteúdo teórico ministrado em aula com exemplos práticos visuais, já que além da teoria em sala, o acadêmico terá estudos práticos dos trabalhos mecânicos e componentes do motor, levando o conhecimento a prática do que antes era visto só em teoria.

PALAVRAS-CHAVE: Ciclo otto; Máquinas térmicas; Bancada de didática.

1. INTRODUÇÃO

Bancadas didáticas são estações de trabalho que proporcionam o aluno e ao professor uma simulação da realidade em campo. Proporcionando testes de funcionamento de motores, esteiras e partes hidráulicas. Que possibilitam o aprofundamento em estudos direcionados a motores de combustão interna, (ANTONELLO, 2015).

As bancadas didáticas tornaram-se fundamentais para a formação de novos acadêmicos, buscando mostrar ao aluno uma realidade mais próxima do trabalho em campo. Desta forma, podemos considerar as bancadas didáticas uma ferramenta relevante ao ensino, levando em conta que os conceitos vistos somente em teoria são muitas das vezes, insuficientes para o aprendizado de todo o conteúdo de máquinas térmicas, (STREDA; GALL, 2013).

Essa ferramenta pode ser utilizada nas aulas práticas, proporcionando outro recurso para o docente melhorando o engajamento dos alunos no conteúdo ministrado, proporcionando a visualização do motor e seus componentes móveis, (MORAN; SHAPIRO, 2009).

Os motores de combustão interna são responsáveis pela transformação de energia proveniente da queima da mistura ar e combustível em trabalho útil, (ANTONELLO, 2015).

É possível a demonstração aos alunos do curso de Engenharia Mecânica o funcionamento das partes móveis do motor de combustão interna, tais como: pistões, eixos e válvulas. Através do trabalho de combustão, convertendo o movimento linear do pistão em movimento circular do eixo virabrequim. Com o corte poderá ter a visão destes movimentos e acompanhar cada estágio de combustão e exaustão do motor, podendo ser esclarecida todas as dúvidas sobre os estágios e tempo dos motores de combustão interna, (BRUNETTI, 2012).

Segundo PANDINI (2015), as universidades têm grandes dificuldades em adquirir estas bancadas didáticas devido seu alto valor no mercado, pois muitas são importadas de outros países. Sendo assim, Pandini (2015) sugere que a melhor maneira de melhorar seu custo-benefício é propor aos próprios alunos a calcular e elaborar as bancadas.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 BANCADAS DIDÁTICAS

De acordo com Derlene (2017), bancadas em ambientes acadêmicos auxiliam na realização de aulas práticas, pois melhora o interesse do aluno buscando assim mais conhecimento e compreensão do assunto tratado.

As bancadas didáticas são ferramentas que possibilitam o aprendizado prático e a possibilidade de interagir em um processo real dentro da universidade. Brandão; Santos, (2017). Dessa forma, o aluno ao longo do curso será auxiliado do que se pode ocorrer em um sistema através da simulação real do sistema.

Portanto, as bancadas aproximam os alunos de uma vivência em campo, aproximando do que o mercado de trabalho solicita, já que é uma das melhores

maneiras de associação entre as aulas práticas e as teóricas. Em aulas de motores de combustão interna com a banca didática o aluno terá novo auxílio de conhecimento dá teoria para a realidade da vivencia em campo. Assim, poder observar cada movimento do motor e como é o seu funcionamento na realidade, analisando cada movimento de seus componentes móveis, (Pandini, 2015).

2.2 MÁQUINAS TÉRMICAS

Em termodinâmica, máquinas térmicas são sistemas que realizam a conversão de calor ou energia térmica em trabalho mecânico. Isto se dá quando uma fonte de calor leva uma substância de trabalho de um estado de baixa temperatura para um estado de temperatura mais alta. A substância de trabalho (normalmente gás ou vapor em expansão térmica) transfere essa energia através de sua expansão no interior da máquina térmica acionando o sistema mecânico (pistão, rotor ou outro) e realizando trabalho. Durante essa expansão, a substância de trabalho perde calor para o meio, (STONE, 1992).

De acordo com Brunetti (2012), dispositivos que permitem transformar calor em trabalho. O calor pode ser obtido de diferentes fontes: combustão, energia elétrica, energia atômica. Este trabalho irá tratar apenas das máquinas a combustão, mais especificamente, o motor a combustão interna.

2.3 MODELOS DE MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA

Segundo Brunetti (2012), os motores de combustão interna podem ser classificados em: Motores alternativos, rotativos e de impulso.

No motor de ignição por centelha, o combustível e o ar são misturados e inflamados pela centelha gerada pela vela de ignição. Já na ignição por compressão, o ar é comprimido isoladamente a uma alta temperatura e pressão até um ponto em que o combustível, ao ser adicionado, entra em combustão espontânea, (MORAN; SHAPIRO, 2009).

Os motores alternativos têm este nome porque o seu processo térmico ocorre dentro de um conjunto cilindro-pistão que realiza movimentos alternativos. Os principais tipos de motores a combustão interna alternativos, quanto ao tipo de

ignição, são: Motor de ignição por centelha e o Motor de ignição por compressão, (MORAN; SHAPIRO, 2009).

Podendo ser o motor de dois ou quatro tempos, o ciclo do curso do pistão pode ser concluído em dois ou quatro tempos. Quando o ciclo estiver completo em dois cursos do pistão o motor é de dois tempos e quando o ciclo é concluído em quatro cursos, o motor é de quatro tempos, (VARELLA, 2014).

2.4 CICLO OTTO

Motor de ciclo otto para sua combustão utiliza se a energia da centelha para que ocorra à reação de combustão dentro da câmara de combustão. VARELLA, (2014). Assim tendo como combustível o álcool, gasolina e o gás, para que ocorra a explosão na câmara de combustão.

Os motores obtêm uma força no eixo virabrequim que é obtida da combustão na câmara de combustão ou nos cilindros, através de um êmbolo que se movimenta internamente no cilindro gerando uma força para o eixo virabrequim através da biela, (ALMEIDA, 1971).

Com isso os motores de ciclo otto trabalham em dois ou quatro estágios, sendo eles os motores de dois ou quatro tempos, (MARTINS, 2006).

2.5 MOTORES DE DOIS TEMPOS

Nos motores de dois tempos o ciclo se completa apenas com dois cursos do pistão, correspondendo a apenas uma volta do motor, porém com os mesmos processos do motor de quatro tempos, (BRUNETTI, 2012).

Assim, a grande diferença nos motores de dois tempos vem do fato das etapas se reproduzirem simultaneamente, (VICENTE, 1977).

Portanto, como dito anteriormente, o ciclo de funcionamento do motor de dois tempos é realizado em duas etapas, correspondente a dois cursos do pistão, DUARTE (2018). Assim considerando o primeiro tempo o pistão em movimento do Ponto Morto Superior (PMS) até o Ponto Morto Inferior (PMI), com o segundo tempo executando o movimento inverso, (MARTINS, 2016). Conforme ilustrado na Figura 1.

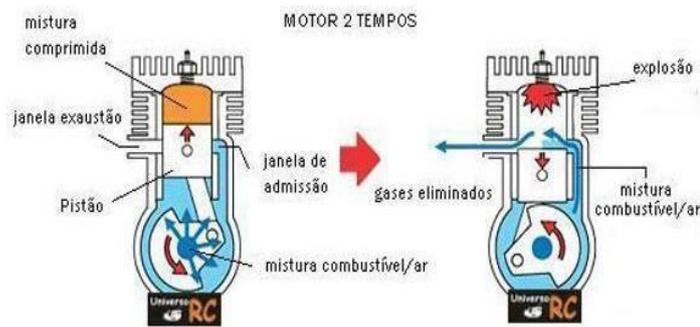


Figura 1: Funcionamento do motor de dois tempos
Fonte: Aeroescolinha. blog spot (2012)

2.6 MOTORES DE QUATRO TEMPOS

O motor de combustão interna tem como objetivo converter a energia térmica em energia mecânica, que busca a conversão do movimento retilíneo alternado do pistão em movimento rotativo do virabrequim, (MAHLE, 2019).

No primeiro tempo ou admissão, o pistão se desloca do ponto morto superior (PMS) até o ponto morto inferior (PMI). Com o movimento do pistão tem se uma sucção de ar através da válvula de admissão, assim permitindo que o cilindro seja preenchido com uma mistura de ar-combustível, (SIMÊNCIO, 2019).

No segundo tempo ou compressão, se dá com as válvulas de admissão e exaustão estão fechadas, é o pistão faz a compressão da mistura ar-combustível na câmara de combustão com o movimento do ponto morto inferior (PMI) ao ponto morto superior (PMS), (BRUNETTI, 2012).

No terceiro tempo ou expansão, ocorre uma faísca na vela de ignição causando a queima da mistura e elevando a pressão interna na câmara de combustão empurrando o pistão do ponto morto superior (PMS) para o ponto morto inferior (PMI). Esse é o processo que realiza o trabalho positivo do motor, (MARTINS, 2006).

No quarto tempo ou escape, o pistão faz-se o movimento do ponto morto inferior (PMI) ao ponto morto superior (PMS) expulsando os gases do cilindro provenientes da queima através da válvula de escape, para que se dê início ao novo ciclo, (SIMÊNCIO, 2019).

Vale ressaltar que, assim como ilustrado na Figura 2, o eixo do motor realizou duas voltas, e o pistão percorreu seu curso quatro vezes durante o ciclo do motor, para um motor de quatro tempos.

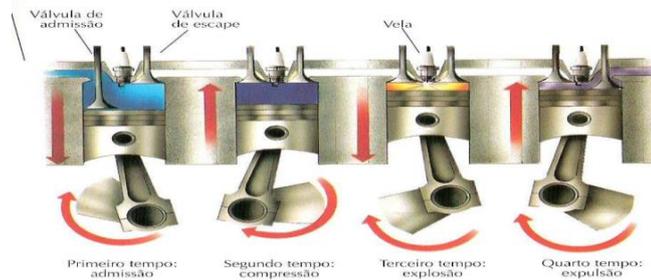


Figura 2: estágios do motor de quatro tempos
Fonte: Abekwar (2013)

2.7 COMPONENTES DO MOTOR

Este capítulo trará a apresentação dos principais componentes do motor de combustão interna, portanto na Tabela 1 pode-se observar os componentes do motor.

Tabela 1: Principais componentes do motor

1 – Carburador
2 - Filtro de Ar
3 - Eixo de Comando
4 - Balancim
5 - Ajuste Hidráulico (Tucho)
6 - Válvula de Admissão
7 - Válvula de Exaustão
8 – Pistão
9 - Biela
10 - Virabrequim (Árvore de manivelas)
11 - Bomba de Óleo
12 - Coletor de Óleo
13 - Polia Tensora
14 - Correia Dentada

Fonte: Autoria própria.

2.7.1 Carburador

De acordo com Martins (2006), os motores de combustão interna queimam uma mistura de ar e combustível para poder realizar trabalho, com isso, esta mistura deve ser feita com o máximo de precisão para que ocorra a combustão. Para isso, os motores utilizam o carburador.

O motor em movimento aspira certa quantidade de ar, e ao entrar no carburador suga certa quantidade de combustível que se misturam no interior dele mesmo. Atualmente os carburadores foram substituídos por sistemas de injeção eletrônica, (MARTINS, 2006).

Na Figura 3 temos a vista em corte de um carburador e seu modelo de funcionamento.

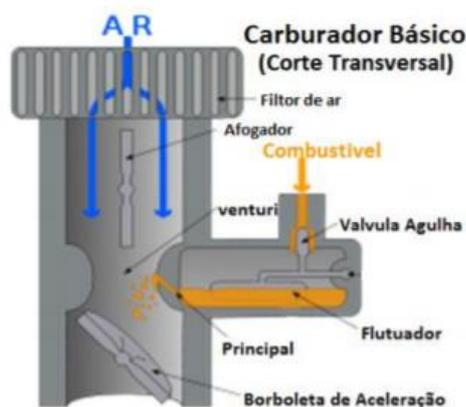


Figura 3: Corte transversal de um carburador
Fonte: MAHLE (2003)

2.7.2 Filtro de ar

Dentre as funções dos filtros automotivos, o filtro de ar atua de modo a separar e eliminar sujeiras absorvidas pelo motor. Quando este retém partículas além do limite permitido, acaba ficando saturado. Para este estado, no entanto, é preciso ter atenção. O resultado da saturação do filtro de ar é o consumo excessivo de combustível para gerar energia. A explicação está no fato do motor entender que precisa consumir mais energia para trabalhar corretamente. Uma consequência disso é a maior liberação de gases na atmosfera, (VELUPLAST, 2021).

Outra questão que também está associada ao filtro de ar é a chegada de poeira até o motor. Caso isso aconteça, o componente poderá se desgastar progressivamente até chegar ao ponto de ficar totalmente degradado. Essa situação pode atingir, até mesmo, os cilindros e pistões. O reparo total demanda um investimento de alto custo, (VELUPLAST, 2021).

Na Figura 4 podemos observar a imagem de um filtro de ar simples.



Figura 4: Filtro de ar
Fonte: Divulgação G1 (2017)

2.7.3 eixo de comando

A função deste eixo é abrir as válvulas de admissão e escape. É acionado pelo virabrequim, através de engrenagem ou corrente, ou ainda correia dentada, (MAHLE Metal Leve S.A, 2013).

O eixo de comando de válvulas é chamado também de veio de ressaltos ou árvore de cames. É realmente como um tronco com seus ramos ou raízes (os cilindros). Esse eixo é o que regula a abertura das válvulas num motor de combustão interna. É ele que permite a abertura e fechamento das válvulas.

Na Figura 5 temos a vista de um Eixo de Comando.

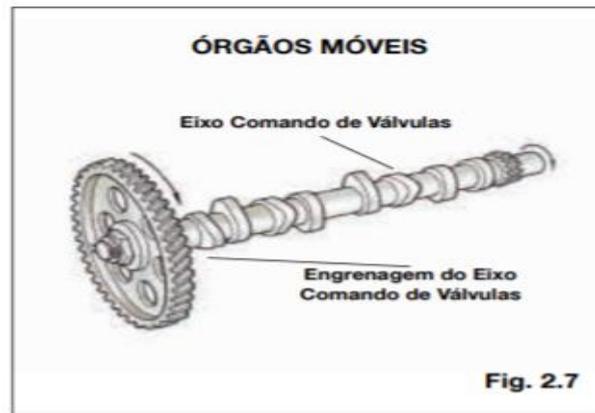


Figura 5: Eixo comando de válvulas
Fonte: MAHLE (2011)

2.7.4 balancim

O balancim é a peça responsável pela transmissão do movimento do eixo de comando em direção às válvulas de admissão e válvulas de escape do motor, processo que ocorre por meio do contato direto dessas peças com os tuchos e de acordo com a movimentação do eixo (ED SOLIQUE, 2011).

Enquanto os balancins têm contato direto com o tucho em uma de suas extremidades, a outra ponta desse componente fica acoplada às válvulas de admissão e de escape. Isso quer dizer que, ao ser acionado pelo ressalto do eixo de comando, o balancim abaixa um de seus lados, permitindo que a válvula seja aberta de modo a deixar entrar a mistura de ar e combustível na câmara de combustão, (Ed Solique, 2011).

Esse movimento ocorre tanto para a válvula de admissão quanto para a válvula de escape. O deslocamento, por sua vez, é apoiado por uma mola que força o retorno das válvulas para a posição inicial. As molas precisam ter resistência para suportar as rotações elevadas do motor, considerando que o processo ocorre a velocidades extremas e mantendo o contato constante com os balancins, (Ed Solique, 2011).

Na Figura 6 podemos observar a imagem de um balancim.



Figura 6: Balancim
Fonte: MAHLE (2003)

2.7.5 ajuste hidráulico (tucho)

Basicamente existem dois tipos de tuchos, os convencionais (mecânicos) e os hidráulicos (RIOSULENSE, 2021).

O tucho mecânico é totalmente sólido, ou seja, tem seu corpo rígido enquanto o tucho hidráulico é oco formando internamente um cilindro com um êmbolo. Este êmbolo é mantido para fora pela força de uma mola, (RIOSULENSE S.A, 2021).

O tucho hidráulico como representado na figura 2.8, é preenchido com o óleo lubrificante do próprio motor através de orifícios que se encontram no corpo do tucho. Esses orifícios são controlados por uma válvula que por sua vez, é controlada através dos deslocamentos provocados pelos comes do eixo comando. Quando o câme não está forçando o balancim da válvula, os orifícios estão abertos, e quando o câme força a abertura da válvula, os orifícios são fechados e o lubrificante fica preso no interior do tucho. O deslocamento do óleo que provocado pela bomba, faz com que durante esta operação de abertura e fechamento ocorra uma troca do lubrificante que está no interior do tucho (RIOSULENSE, 2021).

Isso é importante por duas coisas: primeira para eliminar qualquer bolha de ar que esteja presente e segundo, para permitir a troca de calor mantendo arrefecido o tucho. Quando se utiliza tucho mecânico em um motor, é necessário que haja uma folga devido à dilatação do mesmo sob efeito do calor despreendido pelo motor. Já com o uso do tucho hidráulico essa folga é desnecessária. Não havendo essa folga, o nível de ruído do motor será bem menor (RIOSULENSE, 2021).

Pode-se melhor observar o processo através da Figura 7.



Figura 7: Ajustes hidráulicos (tuchos)
Fonte: MAHLE (2003)

2.7.6 Válvula de admissão

Para fornecer a entrada de maior quantidade de mistura fresca para o interior do cilindro, a válvula de admissão inicia seu curso de abertura no final do ciclo de exaustão quando a quantidade de gases da queima dentro do cilindro ainda possui energia cinética suficiente para provocar uma depressão na câmara de combustão. O seu escoamento em alta velocidade pela porta de escape, arrasta os gases remanescentes e induz ao preenchimento do cilindro com a nova mistura (GUIMARÃES, 2007).

Por outro lado, se a válvula de admissão abre muito cedo no ciclo de exaustão, pressões ainda elevadas no cilindro podem induzir no escoamento do gás pela válvula de admissão até o coletor de admissão ao invés de escoar pelo sistema de exaustão (GUIMARÃES, 2007).

A válvula de admissão permanece aberta durante todo o ciclo de admissão e parte do início do ciclo de compressão. O ângulo percorrido pelo virabrequim depois do PMI (Ponto morto inferior) e antes que a válvula de admissão se feche, é utilizado para o aproveitamento da inércia da nova mistura, proporcionando mais tempo para o preenchimento do cilindro e conseqüentemente aumentando a densidade do carregamento (ALEXANDER, 2002).

2.7.7 Válvula de exaustão

Para tentar maximizar a expulsão dos gases de exaustão do cilindro, o came é projetado para abrir a válvula momento em que o pistão reduz sua velocidade e se aproxima do PMI (Ponto morto inferior). Conseqüentemente, quando a válvula de exaustão se abre, os gases remanescentes no cilindro ainda apresentam uma pressão residual relativamente alta, em torno de 3-4 bar (300-400kpa) o que provoca, pela própria ação da energia existente, a expulsão dos gases da queima para o sistema de exaustão e para a atmosfera (GUIMARÃES, 2007).

Por outro lado, esta abertura antecipada da válvula de exaustão provoca uma pequena perda no ciclo de expansão, que deve ser compensada pela energia economizada pela redução do trabalho no ciclo de exaustão, também deve ser calculado de modo que a válvula se abra apenas quando o pistão estiver desacelerando na região próxima ao PMI (GUIMARÃES, 2007).

A válvula de exaustão é mantida aberta durante todo o ciclo de exaustão e no início do ciclo de admissão, fechando logo após o PMS. O atraso no fechamento da válvula induz um vácuo na porta de exaustão e na câmara de combustão, proporcionando o melhor preenchimento desta com a nova mistura Ar/Combustível a ser queimada e facilitando o escoamento dos gases residuais ainda presentes no cilindro (ALEXANDER, 2002).

Através da Figura 8 há a apresentação dessas válvulas.

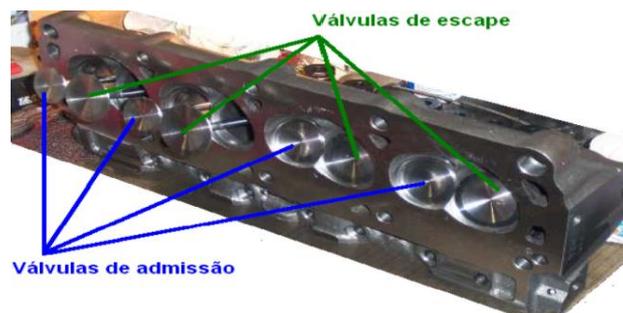


Figura 8: Válvulas de admissão e exaustão
Fonte: Retífica Vila Maria (2021)

2.7.8 Pistão

O pistão ou êmbolo de um motor é uma peça cilíndrica normalmente feita de alumínio ou liga de alumínio, que se move longitudinalmente no interior do cilindro dos motores de explosão. Tem como principais funções comprimir a mistura

ar/combustível no cilindro (fase de compressão) e converter a energia térmica gerada pela explosão em energia mecânica durante a fase de expansão (ROCHA, 2009).

Além disso, os pistões são também responsáveis por terminar o processo de homogeneização da mistura ar/combustível. A forma de seu topo determina não só o modo como a mistura combustível ar preenche o cilindro, mas também altera a turbulência durante a compressão (ROCHA, 2009).

Sua forma tem influência tanto no rendimento mecânico, como no rendimento térmico do motor. O presente trabalho restringe-se ao estudo centrado na avaliação do rendimento mecânico e da forma de interação do pistão com o cilindro do motor.

A Figura 9 mostra a ilustração de um pistão e na Figura 10 mostra o pistão em conjunto com a biela.



Figura 9: Pistão, Anéis, camisa
Fonte: MAHLE



Figura 10: Pistão, biela.
Fonte: MAHLE

2.7.9 BIELA

É a parte do motor que liga o pistão ao virabrequim. É fabricado de aço forjado e divide-se em três partes: cabeça, corpo e pé. A cabeça é presa ao pistão pelo pino e o pé está ligado ao virabrequim através de um material antifricção, chamado casquilho ou bronzina (UFPEL, 2013).

De acordo com Magneti Marelli Cofap (2011): “As bielas são hastes metálicas que conectam os pistões ao virabrequim nos motores a combustão interna. A força resultante na explosão do combustível na câmara de combustão é transmitida dos

pistões para o virabrequim pelas bielas”. Durante a transmissão da energia gerada pela explosão a biela transforma o movimento linear do pistão em movimento rotativo do Virabrequim.

Na Figura 11 podemos observar o princípio de funcionamento da biela:



Figura 11: Biela

Fonte: MAGNETTI MARELLI COFAP (2011).

2.7.10 VIRABREQUIM (ÁRVORE DE MANIVELAS)

O virabrequim é a peça responsável pela transformação dos movimentos alternativos dos pistões e bielas em movimento giratório, para isto, este necessita ser resistente robusto e leve, a fim de suportar as tensões que são transmitidas pelas bielas (RACHE, 2004).

O virabrequim é dividido em braços e moentes, que formam as manivelas e os munhões. Eles correspondem às superfícies de contato do virabrequim com o bloco do motor. Todas as partes do virabrequim são: espiga, moentes, munhões e flange. Além dessas partes, o virabrequim tem “parceiros”. Ou seja, para desempenhar o seu papel, a árvore de manivelas precisa das bielas e dos pistões, principalmente (COSTA, 2012).

O eixo Virabrequim juntamente das bielas e pistões acoplados a ele conforme observado na Figura 12.



Figura 12: Eixo virabrequim com bielas e pistões acoplados.
Fonte: Retífica Vila Maria (2016)

2.7.11 BOMBA DE ÓLEO

Essencial para a lubrificação forçada dos componentes móveis e agregados do motor, mantendo a vazão e pressão dentro do seu ideal também é essencial para a longevidade e o bom funcionamento do conjunto, assim a bomba de óleo deve estar em perfeito funcionamento para que efetue o seu trabalho. O que demanda manutenção preventiva de algumas partes do sistema de lubrificação tendo que o óleo deve circular todos os componentes para que se cumpra a sua lubrificação (VILANOVA, 2015).

O óleo em circulação lubrifica e auxilia na refrigeração dos componentes móveis do motor, como o comando de válvulas, virabrequim, pistões, anéis e camisas. Para que efetue sua função a bomba é acionada por um dos eixos do motor: o virabrequim ou comando de válvulas (VILANOVA, 2015).

Portanto, segundo Vilanova (2015). Ao baixar a pressão do sistema, logo é atribuído ao desgaste da bomba de óleo, que na verdade um dos maiores causadores desse sintoma pode ser o aumento de folgas internas no motor devido ao seu próprio desgaste de trabalho. Na figura 13 observa-se uma bomba de óleo.

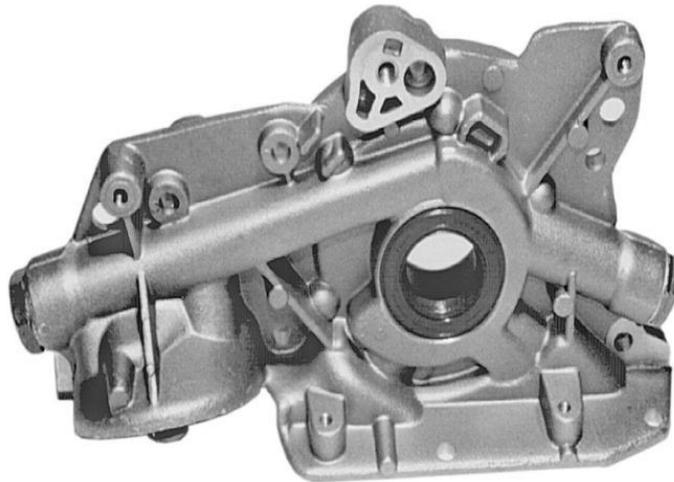


Figura 13: Bomba de óleo
Fonte: Nakata

2.7.12 COLETOR DE ÓLEO (CÁRTER)

O cárter do motor, observado na Figura 14, é um dos itens essenciais para o bom funcionamento do motor, tendo como sua principal função assegurar o lubrificante do motor, que reduz o atrito entre as partes móveis e evita o superaquecimento e faz o resfriamento (FILTRO TECFIL, 2019).



Figura 14: Cárter do motor
Fonte: Jocar (2014)

2.7.13 POLIA TENSORA

Segundo Marcos (2020), este é um componente importante em forma de rolamento com a função de manter a correia dentada tensionada. Assim sua função é tão importante quanto à da própria correia dentada (Figura 15). Com a falha do

tensor da correia pode não causar apenas defeitos simples, porém também as válvulas e pistões do motor podem ser danificados, sendo defeito grave. Normalmente, quando um tensionador está ruim vem acompanhado de ruídos.

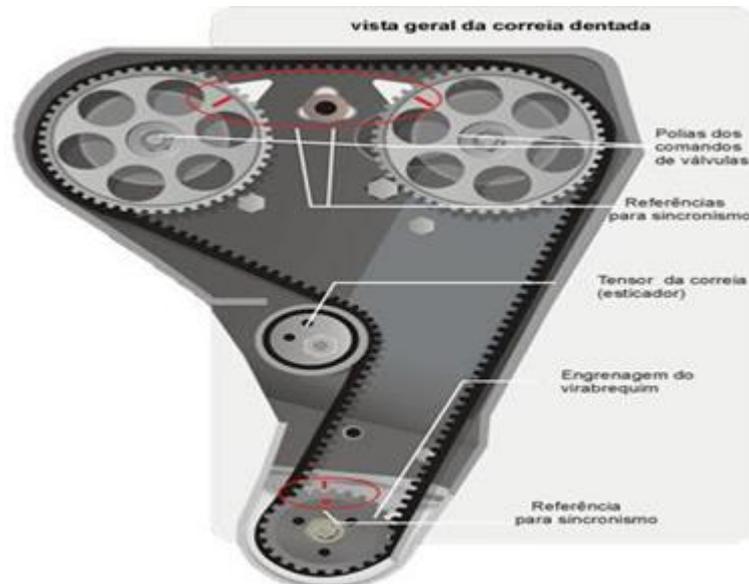


Figura 15: Esquema do tensor, correia e polias.
Fonte: Dicas para manutenção do seu carro

3 METODOLOGIA

O presente trabalho obteve um estudo em um motor de ciclo otto, com as informações necessárias, pode-se dividir o trabalho em quatro etapas, sendo a primeira etapa a etapa de desmontagem e lavagem de todos os componentes; a segunda etapa foi a avaliação da melhor posição para o corte, onde pode se observar seus principais componentes internos; terceira etapa corte e pintura do motor; quarta etapa construção da banca e estudo do melhor motor elétrico e seu acoplamento.

3.1 PREPARAÇÃO DO MOTOR

No presente trabalho foi utilizado um motor EA827 ou mais conhecido AP 1.6 (Alta performance) que foi utilizado pela Volkswagen equipando alguns modelos da montadora. No entanto vale ressaltar que este motor é de fabricação da Audi, que seria o motor AUDI 827, no entanto ficou famoso em veículos da marca Volkswagen após aprimoramento de seus engenheiros.

A Figura 16 ilustra o motor EA 827 ou AP 1.6.



Figura 16: motor EA827 (AP 1.6)

Fonte: Localmotors (2020)

A Tabela 2 a seguir apresenta os dados técnicos do motor que foi utilizado para o processo de fabricação da banca didática.

Tabela 2: Ficha técnica motor AE827

Combustível	Gasolina
Disposição:	Verticais em linha
Válvulas:	8 Válvulas
Cilindros:	4 cilindros
Razão de compressão:	8,5: 1
Acionamento:	Coreia dentada
Alimentação:	Carburador
Cilindrada:	1596cm ³
Diâmetro dos Cilindros:	81 mm
Curso dos Pistões:	77,4 mm
Torque:	12,7 kgfm a 2600 rpm
Potência:	80 cv a 5600 rpm

Fonte: hpdopassat.com.br (2019)

Seguindo a ordem de montagem e desmontam o motor foi desmontado para que fosse efetuado um processo de limpeza, removendo toda impureza como seu excesso de óleo lubrificante e impureza do tempo de uso.

Após ser desmontado o motor, todas as peças foram lavadas com gasolina, para a remoção de toda sujeira acumulada. Depois de lavado com gasolina as peças foram lavadas em jato de água de alta pressão para remoção de todo o resíduo de gasolina e sujeira ainda presente.

Com o processo de limpeza finalizado, o motor foi levado a uma banca de corte e fixado com segurança, para assim se dar o início a etapa de corte do bloco e cabeçote do motor.

Através do auxílio de uma esmerilhadora, modelo MO920 da marca Makita, foi cortado o bloco do motor em sua parte frontal, nas localidades dos cilindros e eixo, de modo que se tenha visão de toda sua parte interna em funcionamento.

Para o processo de corte do bloco foram utilizados três discos de corte, sendo estes de dimensões 180 x 1,6 x 22.2 mm, da marca REFOC com uma rotação máxima de 8584 RPM.

A máquina e o disco utilizado no corte podem ser observados nas figuras 17.a e 17.b.



Figura 17.a e 17.b: Esmerilhadeira e disco utilizado para o corte
Fonte: Arquivo pessoal do autor.

A Figura 18 apresenta as partes no qual foi realizado o corte do bloco motor para visualização, com localidades específicas na direção dos pistões e o eixo. Assim o eixo foi devidamente parafusado no seu local, tal que pudesse ter uma direção corte, e onde mesmo irá proporcionar a visão interna do motor.



Figura 18: Bloco do motor após o corte
Fonte: Arquivo pessoal do autor (2021)

Para realização do corte do cabeçote do motor foi utilizado uma fresadora ferramenteira. Assim, com o suporte da fresadora pode se abrir o cabeçote de modo que tenha uma visão da haste das válvulas, com o corte a visão do movimento das válvulas de admissão e de escape será ampla e podendo observar todas as válvulas em trabalho ao mesmo tempo.

A Figura 19 detalha a posição do corte efetuado na parte frontal cabeçote do motor mais especificamente em direção a haste das válvulas mostrando as galerias de exaustão e admissão do motor.



Figura 19: Cabeçote do motor após processo de fresagem
Fonte: Arquivo pessoal do autor (2021)

O cabeçote do motor foi cortado com o auxílio de uma fresadora ferramenteira, marca Clever modelo 4VS, buscando um corte com melhor

acabamento utilizou-se uma fresa de topo com haste cilíndrica aço rápido de 12 mm, acompanhando um passe de 2 mm de corte.

A fresadora ferramenteira e a fresa utilizadas para o corte do cabeçote poderão ser vistas nas imagens 20.a e 20.b.



Figura 20.a e 20.b: Fresa de 12 mm e fresadora ferramenteira Clever 4 vs
Fonte: Arquivo pessoal do autor

Com todo o processo de corte executado, iniciou-se o lixamento de rebarbas provenientes dos cortes e limpeza do motor, para que assim se inicie o processo de pintura do motor e suas peças, buscando uma melhor visão após ser montado. Esses processos estão detalhados nos tópicos em sequência.

3.2 PINTURAS DO MOTOR

Para o processo de pintura foi utilizado uma pistola de gravidade da marca Zefiix modelo LX100, acoplada a um compressor de ar da marca Schulz de 10 pés 100 litros, para a pintura foram utilizadas as tintas de cores: preta, vermelha, azul França e amarelo, buscando destacar alguns dos principais componentes de cada cor, assim trazendo a identificação de cada peça.

A seguir a Tabela 3 apresenta as tintas utilizadas e respectivamente as peças que foram pintadas.

Tabela 3: Tintas e peças pintadas

Cores das tintas	Peças pintadas
Preta	Bloco do motor
Vermelha	Partes cortadas
Azul França	Eixos
Amarelo	Bielas e Válvulas

Fonte: Autores (2021).

A pintura do bloco foi utilizada tinta preta fosco da marca Brasilux, para o eixo do comando de válvulas e o eixo virabrequim foram pintados com a tinta esmalte sintético da marca Universo tintas na cor azul francesa.

As bielas foram pintadas com a tinta esmalte sintético da marca Universo tinta na cor amarela, seguido dos cortes do bloco do motor e do cabeçote foram pintados com a tinta esmalte sintético na cor vermelho da marca Eucalar.

As tintas utilizadas, bem como a pistola e o compressor poderão ser vistos nas Figuras 21.a, 21.b e Figura 22.



Pistola de Pintura HVLP
Zeffix - Modelo LX100
Estágios: 2
Bico: 1,4mm
Caneca: 600ml
Abertura Leque: 26cm
Consumo de ar: 3,5 a 7pcm
Pressão de trabalho: 30 a 50psi

Figura 21.a e 21.b: Tintas e pistola de pintura de gravidade
Fonte: Autoria própria e Ferramentasmep.com.br



Figura 22: Compressor 10 pés 100 litros
Fonte: www.schulz.com.br

Para o processo de pintura, inicialmente foi separado cada peça conforme a cor a ser pintada, seguindo de uma mistura 1/3 do diluente da quantidade de tinta, aplicou primeiramente uma camada de tinta em cada peça, seguindo uma segunda demão para corrigir algumas imperfeições.

Portanto aplicada a tinta nas peças com a finalidade de destacar cada componente após o motor ser montado, como mostra a Figura 23.a o cabeçote do motor pintado na parte vermelho o corte e a parte amarela as hastes das válvulas, seguindo a imagem 23.b o bloco pintado na parte vermelha o corte, azul o eixo virabrequim e amarelo as bielas.

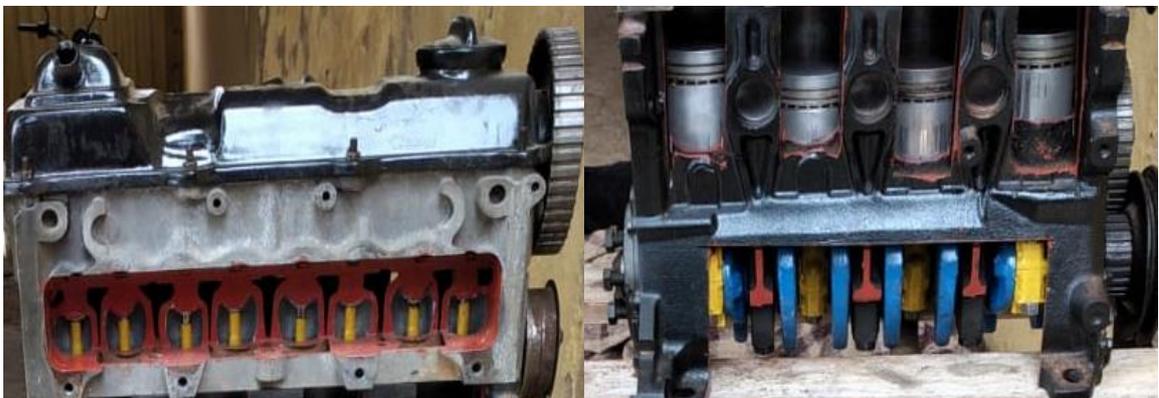


Figura 23.a e 23.b: Cabeçote do motor e bloco do motor.
Fonte: Arquivo pessoal do autor

3.3 CONFECÇÃO DA BANCA.

Para a confecção da banca foi utilizado perfil de aço A36 de 1"x1/8" polegadas, conhecida também como cantoneiras.

A mesa da banca possui 830 milímetros de altura, de modo que obtenha uma boa visão de todos os componentes do motor, e possui 380 milímetros de largura e 750 milímetros de comprimento. Assim contendo uma área capaz de comportar todo o motor.

Na tampa superior da banca, foi realizado um corte na direção da polia do eixo do motor, para que a correia transmissora possa levar o movimento do motor elétrico para o motor de combustão em estudo.

O motor elétrico e o redutor foram montados sob a banca em um compartimento fechado, contendo uma porta em sua parte traseira, para realização de manutenções.

As peças foram unidas pelo processo de soldagem MIG (metal inert gás) sendo a máquina semiautomática ESAB modelo SMASHWELD 266X com o arame de 0,8 milímetros com o gás de proteção argônio e CO₂. A máquina utilizada para realização do processo está detalha na Figura 24.



Figura 24: Máquina modelo smashweld 266x da marca ESAB, utilizado na soldagem para confecção da banca.

Fonte: arquivo pessoal do autor.

Após a estrutura montada foi realizado os suportes de fixação do motor na banca, onde foi utilizado barras de aço A36, com 1"x $\frac{1}{8}$ " de polegadas, em seguida

foram soldadas de acordo com os furos originais do motor para que não fosse preciso alterar o modelo original de fixação, e buscando o melhor apoio na estrutura da banca. (Figura 25).



Figura 25: Cantoneira para suporte do motor a combustão

Fonte: Arquivo pessoal do autor.

Após a banca pronta, foi confeccionada a base de sustentação para o motor elétrico, de modo que mesmo irá ficar na parte inferior da banca, soldado em perfis de metalon lateralmente na estrutura da bancada.

Assim, para manter a correia do motor elétrico esticada, sua base é móvel podendo ter movimento para cima e para baixo, onde o peso do motor irá mantê-la tensionada, do mesmo modo que o motor a combustão irá manter a sua correia tensionada automaticamente pelo tensor da correia dentada.

Pensando em movimentar a banca de um local para o outro, foi instalado rodas de nylon. Assim foi soldado na parte inferior lateral da banca para que as rodas sejam parafusadas, e sua fixação foi utilizado o próprio parafuso e porcas da mesma, demonstrado na Figura 26.



Figura 26: Roda de nylon
Fonte: Arquivo pessoal do autor

O fechamento da estrutura foi utilizado chapas de ACM (*Material de Alumínio Composto*), contendo 2 partes de 830x750 milímetros e duas partes de 830 x 380 milímetros. Contendo em sua parte traseira uma porta de manutenção para o motor elétrico (Figura 27).



Figura 27: Estrutura da banca após o fechamento
Fonte: Arquivo pessoal do autor

3.4 MOTOR ELÉTRICO.

Para o funcionamento da banca foi utilizado um motor elétrico Weg de 0,5 CV contendo uma polia de 50 mm na ponta do eixo, obtendo uma rotação nominal de 3460 RPM (Figura 28).



Figura 28: Motor elétrico utilizado para rotação do motor a combustão

Fonte: arquivo pessoal do autor

A Tabela 4 a seguir apresenta a ficha técnica do motor elétrico conforme apresenta em sua plaqueta de fabricação.

Tabela 4: Dados do motor elétrico

MARCA	WEG
Tipo	Motor monofásico
Rotação	3460 RPM
Frequência	60 HZ
Potência	0,5 CV
Tensão	127/220 V
Corrente	8,60/3,50

Fonte: Weg

Devido à alta rotação do motor elétrico se fez necessário à utilização de reduções, a fim de reduzir a velocidade no motor a combustão. Onde se utilizou um redutor de velocidade da marca Celtron com kit de relação de 1:23, podendo ser observado na Figura 29.



Figura 29: Redutor de velocidade 1:23
Fonte: Arquivo pessoal do autor

No motor elétrico um foi utilizado uma polia de 50 mm de diâmetro fixada no eixo do motor como polia motora, seguindo para polia maior do redutor que receberá o torque do motor elétrico apresenta 210 mm de diâmetro, enquanto a polia menor do redutor apresenta 75 mm de diâmetro, já no motor a combustão permaneceu sua polia original que apresente 140 mm de diâmetro.

A Figura 30 apresenta a polia maior do redutor juntamente com o motor elétrico e a correia utilizada, sendo a polia maior do redutor adaptada para um ganho de redução.



Figura 30: Polia maior, redutor, correia e motor elétrico.
Fonte: arquivo pessoal do autor

4. CÁLCULO DE REDUÇÃO DO MOTOR.

Para saber a velocidade do motor de combustão irá girar, primeiramente realizou cálculo do sistema de polias. Utilizando-se a equação 1:

$$In = \frac{D_{pmot}}{D_{pmov}} \quad (1)$$

Onde:

In = Relação de transmissão entre polias:

D_{pmot} = Diâmetro polia motora em mm:

D_{pmov} = Diâmetro polia movida em mm:

A relação de transmissão total é calculada através da equação 2, e por fim se tem a velocidade final do motor através da equação 3.

$$it = i_1 * i_2 * i_3 \quad (2)$$

$$n_f = n_e * n_f \quad (3)$$

Onde:

i_t = Relação de transmissão total

n_f = Rotação final do sistema em RPM

n_e = Rotação do motor elétrico em RPM

Assim, foi possível calcular a velocidade de um ciclo do pistão do motor de combustão através da equação 4:

$$v_p = 2 * s * \frac{n_f}{60} \quad (4)$$

Onde:

v_p = velocidades do pistão em mm/s

s = curso do pistão

A distância utilizada é duas o curso do motor e a rotação foi transformada em RPS (Rotação por segundo), o que irá corresponder a uma volta do eixo virabrequim. Sendo possível calcular a velocidade V_p em que o pistão se desloca em seu movimento de sobe e desce.

4.1 ANÁLISE DE RESULTADOS

Na Figura 31, temos a apresentação do motor montado, destacando os cortes e as peças pintadas em cores específicas para identificação.

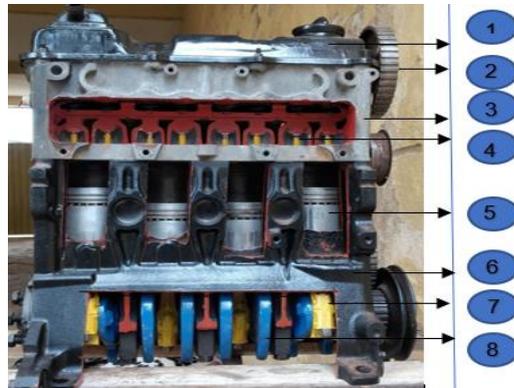


Figura 31: Identificação do motor

Fonte: arquivo pessoal do autor

Tabela 5: Identificação dos componentes do motor

1.	Tampa de Válvulas
2.	Polia do Motor
3.	Cabeçote
4.	Válvulas
5.	Pistões
6.	Bloco do Motor
7.	Bielas
8.	Eixo Virabrequim

Fonte: Autor (2021)

Seguindo na Figura 32, pode-se observar a posição do primeiro e segundo pistão e a biela, mostrando a posição da visão do componente após o corte.



Figura 32: Posição do primeiro e segundo cilindro

Fonte: Arquivo pessoal do autor

Após o processo de cortes e pintura foi feito o processo de montagem do motor sobre a banca como destaca os apoios do motor sobre a banca sendo mostrado na figura 33.a e 33.b.

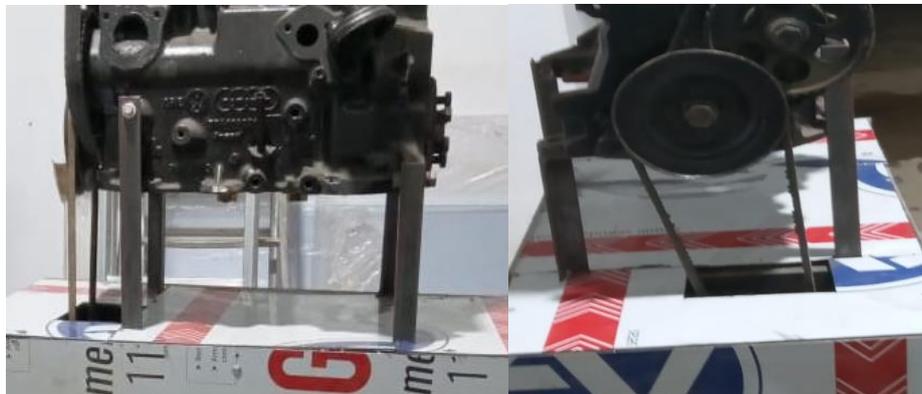


Figura 33.a e 33.b: Apoios do motor sobre a banca

Fonte: Arquivo pessoal do autor

Seguindo o processo de montagem após a fixação do motor obtemos a imagem da banca fechada como mostra a imagem 34.a “frontal” e 34.b “lateral”.



Figura 34.a. e 34.b.: Banca após fechada

Fonte: Arquivo pessoal do autor

4.1.1 Memorial de cálculos

Para o cálculo da relação de polias utilizou-se a equação um, levando em consideração a polia motora do motor elétrico e a maior polia do redutor.

$$i_1 = \frac{50}{210} = 0,23$$

O redutor possui sua relação de transmissão $i_2 = 0,04$. Assim a relação de transmissão da polia do motor a combustão e a polia menor do redutor, i_3 , foram calculadas através da equação um.

$$i_3 = \frac{75}{140} = 0,53$$

Com o valor de todas as relações foi possível calcular a relação de transmissão total do sistema através da equação dois, e por fim foi possível calcular a redução total que foi aplicada no motor pela equação 3.

$$i_t = 0,23 * 0,04 * 0,53 = 4,87 \times 10^{-3}$$

$$n_f = 4,87 * 10^{-3} * 3460 = 17 \text{ rpm}$$

Com os valores encontrados foi possível calcular a velocidade em que os pistões se locomovem em mm/s. assim, a rotação foi transformada para rotações por segundo e o curso do pistão apresenta meia volta do eixo. Sendo assim:

$$V_p = 2 * 77,4 * \frac{17}{60} = 43,86 \text{ mm/s}$$

Devido à necessidade de uma baixa velocidade, o resultado se mostrou satisfatório, podendo trazer uma boa visibilidade de todos os componentes do motor de combustão em trabalho. Sendo uma velocidade nem tão baixa e nem tão alta no qual prejudicaria a visualização da banca.

5 CONCLUSÕES

Conclui-se que o trabalho em questão irá apresentar ao aluno uma ideia real do funcionamento dos motores a combustão interna de quatro tempos, sendo possível uma visualização de seus componentes internos em movimento.

Com a banca didática o docente poderá conciliar o conteúdo teórico ministrado em aula com exemplos práticos visuais, almejando a interatividade dos acadêmicos aos equipamentos laboratoriais, já que além da teoria em sala, o acadêmico terá estudos práticos dos trabalhos mecânicos e componentes do motor, levando o conhecimento à prática do que antes era visto só em teoria.

Podendo citar-se também em relação ao custo-benefício da banca elaborada em questão, obtendo materiais reaproveitados em perfeito estado o que podem reduzir o valor do equipamento, como exemplo o motor de combustão interna adquirido em um ferro velho com valor bem abaixo do valor de mercado.

Assim, a construção da bancada didática de motores se mostrou válida, visto que esta bancada atenderá as condições necessárias para realizar os testes e entender o funcionamento do sistema de combustão do motor. Após toda a pesquisa envolvida sobre máquinas térmicas e sistemas de motores de combustão interna, buscou-se estudos para as etapas de cortes e pintura.

O processo de corte do motor se mostrou válido, deixando poucas rebarbas e em proporcionando uma boa visão dos componentes internos do motor para o auxílio de aulas laboratoriais.

A pintura do motor também se mostrou válida, já que proporcionou um bom entendimento de cada peça por estarem destacadas, como alguns pontos importantes obtiveram pintura de cor variada, sendo, vermelho os cortes do motor, azul eixo do comando de válvulas e eixo virabrequim e amarelo as bielas e válvulas.

O sistema de redução também se mostrou eficaz, pois, a velocidade do motor elétrico teve que ser reduzida, tornando visível o movimento dos componentes, o

que garantiu uma boa visualização dos componentes do motor de combustão interna.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GALL, Janaína Vanuza; STREDA, Vitor Ergang. **Desenvolvimento de uma bancada didática de transmissões mecânicas**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Faculdade Horizontina, Horizontina, 2013.

ANTONELLO, Miguel Guilherme. **METHODOLOGY PROPOSAL FOR INTERNAL COMBUSTION ENGINES PROJECT**. 2015. 179 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

BRUNETTI, Franco. **Motores de Combustão Interna**: Volume 1. São Paulo: Blucher, 2012. 553p.

MAHLE. **MANUAL TÉCNICO: CURSO MAHLE METAL LEVE MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA**. São Paulo: Mahle, 2016. Disponível em: <<http://www.mahle-aftermarket.com/media/local-media-latinamerica/download-center/technical-materials/2016-04-19-manual-curso-de-motores-2016-2.pdf>>. Acesso em: 20 março. 2021.

TILLMAN, Carlos Antonio da Costa. **Motores de combustão interna e seus sistemas**. Pelotas: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, 2013. Disponível em: <https://conaenge.com.br/wp-content/uploads/2018/05/motores_combustao_interna_e_seus_sistemas-2013.pdf>. Acesso em: 28 março. 2021.

FERNANDES, Beatriz Luci; LIMA, key; MOURA, Luis Mauro. **PROJETOS DE SISTEMAS MECÂNICOS PARA ALUNOS DO CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**. Curitiba - PR: Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia, 2004. Disponível em: <http://www.abenge.org.br/cobenge/legado/arquivos/15/artigos/01_377.pdf>. Acesso em: 02 abril. 2021.

RADUNZ, Jean Cláudio. **Bancada didática com motor vivo**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Faculdade Horizontina, Horizontina, 2015.

ANDERLE, Bruno Pase. **DIMENSIONAMENTO DE UMA BANCADA DIDÁTICA DE HIDRÁULICA**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Faculdade Horizontina, Horizontina, 2017.

VILANOVA, Carolina. **Bomba de óleo: Longevidade às peças internas do motor**. São Paulo, 2015. Disponível em: <<https://omecanico.com.br/longevidade-as-pecas-internas-do-motor/>>. Acesso em: 13 maio. 2021.

GIBI, Rodrigo. **Motores a pistão**. Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <<https://abekwar.wordpress.com/2013/04/09/motores-a-pistao/>>. Acesso em: 16 maio. 2021.

TECFIL, Filtros. **Cárter do motor: entenda a sua importância**. Guarulhos, 2019. Disponível em: <<https://www.tecfil.com.br/carter-do-motor-entenda-sua-importancia/>>. Acesso em: 17 maio. 2021.

MARCOS, Júnior. **Tensor da correia dentada - saiba tudo sobre esta peça**. São Paulo, 2020. Disponível em: <<https://ranalle.com.br/tensor-da-correia-dentada/>>. Acesso em: 15 julho. 2021.

GRIGOREVSKI, André. **Motor AP-600**. 2015. Disponível em: <<https://www.hpdopassat.com.br/motor-ap-600/>>. Acesso em: 23 agosto. 2021.

ZORZAN, Flávio; DARONCH, Jeferson; DAL MOLIN, Anderson. **Desenvolvimento de uma bancada didática de hidráulica**. Horizontina, 2013. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/67893172-Desenvolvimento-de-uma-bancada-didatica-de-hidraulica.html>>. Acesso em: 25 agosto. 2021.

VELIPLAST, Centro Automotivo. **Função dos filtros automotivos**. Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <<https://www.veliplast.com.br/funcao-dos-filtros-automotivos/>>. Acesso em: 14 maio. 2021.

RESENDE, Tiago Alceu Coelho. **Estudo da dinâmica das válvulas e desempenho dos coletores de admissão e de escape de um motor de combustão interna de ignição por centelha**. 2017. Programa de Pós-Graduação de Engenharia da Energia (Dissertação) - Faculdade Horizontina, Horizontina, 2017. Disponível em: <<https://www.ufsj.edu.br/portal2-repositorio/File/mestradoenergia/Dissertacoes/2015/DISSERTACAO%20-%20TIAGO%20RESENDE.pdf>>. Acesso em: 20 maio. 2021.

SOUSA, Roberto Guimarães. **Desenvolvimento de uma válvula dinamicamente controlável para motores de combustão interna**. 2007. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecatrônica (Dissertação) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2007. Disponível em: <<https://repositorio.ufba.br/ri/bitstream/ri/21469/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20Parte%2001.pdf>>. Acesso em: 31 maio. 2021.

DIMENSIONAMENTO DE UMA TURBINA RADIAL USANDO O MÉTODO DA LINHA MÉDIA

ACADÊMICOS: Ronaldo da Silva Gonçalves e Wesley Felipe Batista
Orientador: Rieder de Oliveira Neto

Resumo

A energia elétrica é levada a mais de 61 milhões de consumidores em todo país (ANEEL 2020). Sendo contabilizada uma geração de energia elétrica 626,3TWh em 2019(BEN,2020). As turbinas são usadas para esse fim e também nos processos térmicos, nucleares e entre outras. E com isso deve-se aprimorar os estudos para o aumento da eficiência. A turbina é um motor rotativo que converte em energia mecânica a ação de uma corrente de água, vapor ou gás. Neste trabalho definiu-se a radial a vapor, por se tratar da geração de energia elétrica. Por tanto foram estabelecidos parâmetros de dimensionamento, como o design (razão de velocidades, coeficientes de cargas, velocidades específicas, ciclos e as condições de trabalho (LIO, MANENTE, LAZZARETTO,2017). O método usado foi o da linha média, seguindo todos os cálculos de 1ª e 2ª Leis da Termodinâmica e da continuidade, além, dos triângulos de velocidades, e introduzido os dados construtivos e de operação segundo Wei. Todos esses cálculos feitos no Excel com a extensão do Refprop- Software. Para o estudo foram mantidos constantes a pressão, vazão e variando as rotações. E assim o estudo apontou o ponto de maior eficiência sendo 105.000 rpm.

PALAVRAS-CHAVE: Turbinas radiais; método da linha média.

1 INTRODUÇÃO

Segundo (ANEEL 2008) a energia elétrica é entregue a mais de 61 milhões de pessoas no Brasil, contabilizando uma geração de energia elétrica de 626,3 TWh em 2019 (BEN,2020). A maior parte dessa geração provém das usinas hidrelétricas representando 64,9%. Esse crescimento deve ser acompanhado do melhoramento da eficiência energética da usina e também dos equipamentos. Dentre estes equipamentos, destacam-se a as turbinas radiais a vapor, que é o alvo de estudo do presente trabalho.

A turbina a vapor é um mecanismo que retira energia térmica do vapor pressurizado e a alta temperatura (ou seja, alto estado energético ou entálpico) e a transforma em energia cinética, assim sendo possível realizar trabalho no rotor,

permitindo a geração de eletricidade no gerador (CUNHA, 2016). São empregadas em processos nas indústrias aeronáuticas e para geração de energia elétrica.

As turbinas radiais a vapor são compactas, robustas, operando numa faixa de baixas rotações e para altas eficiências. Além do mais, quando utilizadas em reaproveitamento de calor, pode constituir num ganho econômico usando combustível de fontes alternativas.

Existem alguns métodos de dimensionamento de turbinas, dentre eles estão o da linha média e dimensionamento em softwares de CFD (Computational Fluid Dynamic), a escolha de qual método deve ser implementado depende do grau de precisão que é exigido pelo projeto ou pela fase de projeto (preliminar ou descrito, por exemplo). Os projetos de turbinas envolvem o objetivo de maximizar tanto potência produzida quanto eficiência do equipamento, para isso, parâmetro como razão de velocidades, coeficiente de cargas, vazões, ciclos e condições de operação devem ser analisados. (LIO, MANENTE, LAZZARETTO, 2017).

Para o dimensionamento é necessário ter cuidados e atenções para diminuir as possibilidades de falhas e erros que podem trazer sérios riscos a todo equipamento e para as pessoas que operam. Pelo motivo de operarem em altas vazões e pressões, e que tais erros podem ser fatais (WINTER, SEGALOVICH, 2018). O Ciclo Rankine Orgânico oferece nesse sentido, uma boa alternativa, porque além oferecer baixos custos econômicos e fontes alternativas de no uso de combustíveis, também oferece baixo risco a acidentes por trabalhar com pressões e temperaturas médias ou baixas.

O presente trabalho tem como objetivo dimensionar uma turbina radial a vapor, usada em um ciclo de recuperação de calor de média temperatura, e analisar o ponto de máxima eficiência e máxima potência, segundo o método da linha média.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 TURBINAS RADIAIS

Turbinas radiais a vapor, são, equipamentos rotativos, que normalmente operam em regime permanente e que transformam a energia térmica de um fluido a alta pressão e temperatura em energia mecânica de eixo, para produção de potência

(VAN WYLEN; SONNTAG; BORGNAKKE, 2003). Esses equipamentos apresentam altas velocidades de rotação (dependendo de sua capacidade) e, através do aumento de velocidade provocado pela passagem do fluido por um bocal de restrição, é possível a conversão dessa energia, como mencionado.

As turbinas radiais são vantajosas e leves se comparadas as axiais e apresentam um rendimento acima de 75% (RAHBAR, *et al* 2014) apud (SIQUEIRA NETO, 2020). Elas ainda apresentam alta velocidade e eficiência, sendo a de dois ou mais estágios comparados com a axial. Assim as turbinas radiais a vapor são compactas, robustas, operando numa faixa de baixas rotações e para altas eficiências sendo indicadas para pequenas centrais de operação de energia elétrica.

O dimensionamento de turbinas radiais e axiais são diferentes, por motivos construtivos direção do fluxo e condições de parâmetros de rotação, pás, vazão, pressão e outros. Para tais objetivos, é definido qual o melhor equipamento para determinados projetos (AIROLDI, 2009). Algumas podem apresentar o estudo de um fluido específico e outras para quatro ou mais, a fim de comparar e definir aquele mais eficiente e mais barato.

A turbina radial é composta de um rotor, eixo, lâminas, hélices de maneira que quando o vapor a uma velocidade e pressão percorra o rotor gera uma força tangencial provocando um impulso na roda fazendo-a girar. O rotor está conectado a um eixo que, por sua vez, produz trabalho em alguma máquina conectada a ele, podendo ser um compressor, bomba ou gerador de eletricidade. As turbinas a vapor são muito utilizadas para produção de energia elétrica, na marinha e na aeronáutica. Elas ainda podem ser classificadas quanto ao sentido do escoamento em radial, axial e helicoidal (CUNHA, 2016). A Figura (1) representa esse sentido e a direção de entrada e saída do fluido, onde o fluxo de entrada (Inlet flow) e de saída (Outlet Flow).

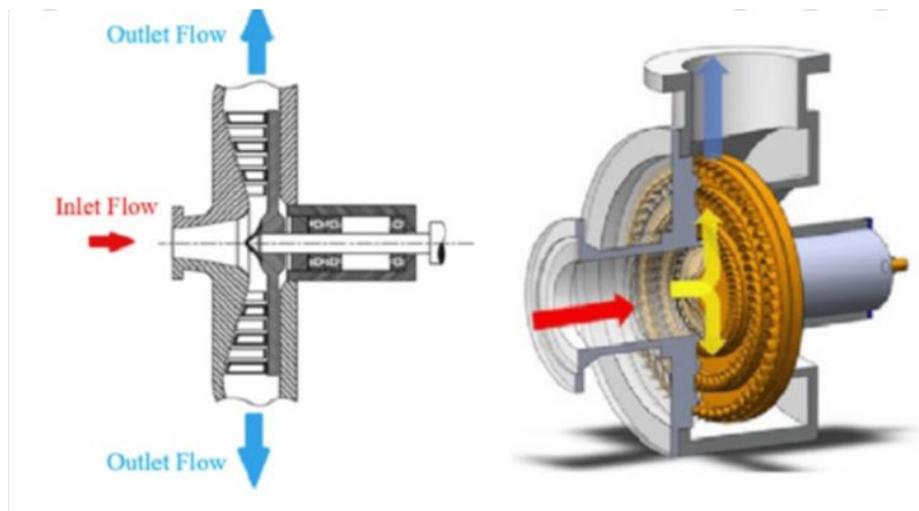


Figura 1: Turbina radial a vapor.
Fonte: KIM e KIM, (2020)

2.2 CICLO DE POTÊNCIA À VAPOR: CICLO RANKINE ORGÂNICO

É uma tradução direta do inglês “Rankine Organic Cycle” (ORC). É realizado um ciclo onde existe algum fluido de trabalho, que pode ser uma substância pura ou uma mistura que tem um comportamento termodinâmico característico. Esse fato, faz o ciclo ser utilizado em pequenas centrais de geração de energia elétrica.

O ciclo Rankine tradicional utiliza água em seu processo de trabalho. Porém a geração de energia elétrica, se torna inviável para fontes de calor menores que 370°C (HUNG; SHAI; WANG, 1997) apud (SCAGNOLATTO,2020) e devido a este fato se utiliza o ORC, que é uma variação do Ciclo Rankine convencional que usa a água como fluido de trabalho, é modificado, ocorrendo substituição por outro fluido orgânico, que em questão é um fluido de baixa pressão e temperatura. O calor residual é usado para geração de energia elétrica. Além disso, o fluido reúne outras características que é diminuição dos riscos de acidente, baixo ponto de ebulição e são bons para o uso de energias renováveis.

Na comparação entre o Ciclo Rankine Orgânico (ORC) e o convencional está no fluido de operação. No convencional o fluido de trabalho é a água e no Ciclo orgânico são os fluidos orgânicos (RIBEIRO,2017). No caso do ORC por ter baixo ponto de ebulição com capacidade de evaporar e produzir vapor de qualidade satisfatório para o aproveitamento na geração de energia. A figura 2 mostra o esquema do Ciclo Rankine Orgânico, onde contém o expansor, condensador,

bomba e o evaporador. Também a direita o mesmo esquema, mais com um recuperador de calor.

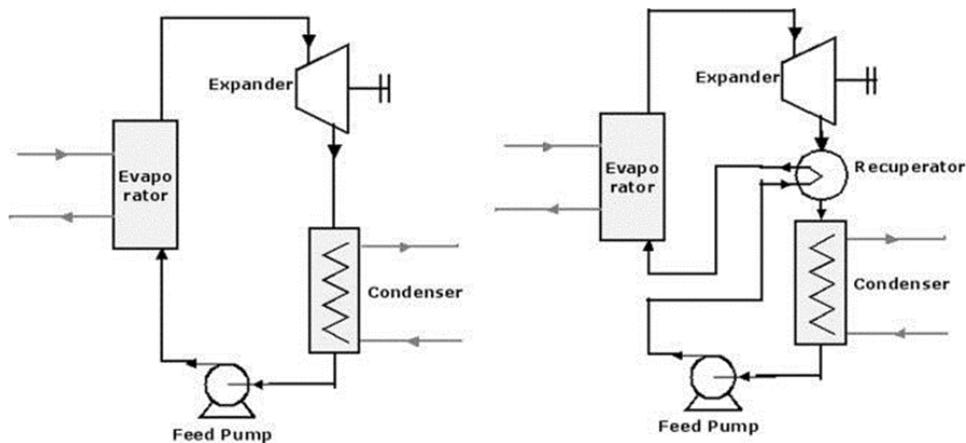


Figura 2 - Componentes de uma planta a vapor e diagrama T-S para o ciclo Rankine.
Fonte: Çengel (2013).

No ciclo ORC, segundo (ÇENGEL; BOLES, 2013): O fluido de trabalho é bombeado de uma baixa pressão para uma alta pressão, num processo adiabático. Logo depois, o fluido é aquecido numa pressão constante, chegando num estado de vapor superaquecido, no evaporador. Em seguida, o fluido se expande, num processo adiabático isentrópico, numa unidade expansora(turbina). Por último, o fluido troca calor no condensador, lugar onde é resfriado numa pressão constante até chegar num estado líquido saturado e assim o ciclo se repete .

Os trabalhos com o uso do Ciclo Rankine Orgânico vêm ganhando destaque por utilizar o calor residual em outros processos de reaproveitamento. O ciclo funciona com fluidos de baixa temperatura e pressões, constituindo-se de fluido que pode ser utilizado neste processo e também devido suas características por usar fluidos de menor risco de acidente e baixo ponto de ebulição e são bons para o uso de energias renováveis.

2.2.3 Projeto de Turbinas

Bazo (2014) afirma “Um projeto de engenharia é uma atividade que envolve uma ciência e uma arte. Envolve conhecimentos nos mais diversos assuntos do saber humano, que implica experiência de quem o desenvolve”.

Um projeto de engenharia envolve muitas variáveis podendo ser de temperatura, vazão, pressão e escolhe-se a potência a ser produzida e eficiência

que a máquina vai operar, em caso das turbinas radiais a vapor são para baixas rotações, para a faixa de operação de até 50KWh.As turbinas podem ser construídas, tendo em sua composição materiais nobres, o que vai garantir a resistência e durabilidade da mesma. Para o dimensionamento da turbina escolhe-se o expensor volumétrico, de escoamento radial, para a maior faixa de produção de potência, como pode ser visto na figura (3) (OLIVEIRA NETO; 2021).

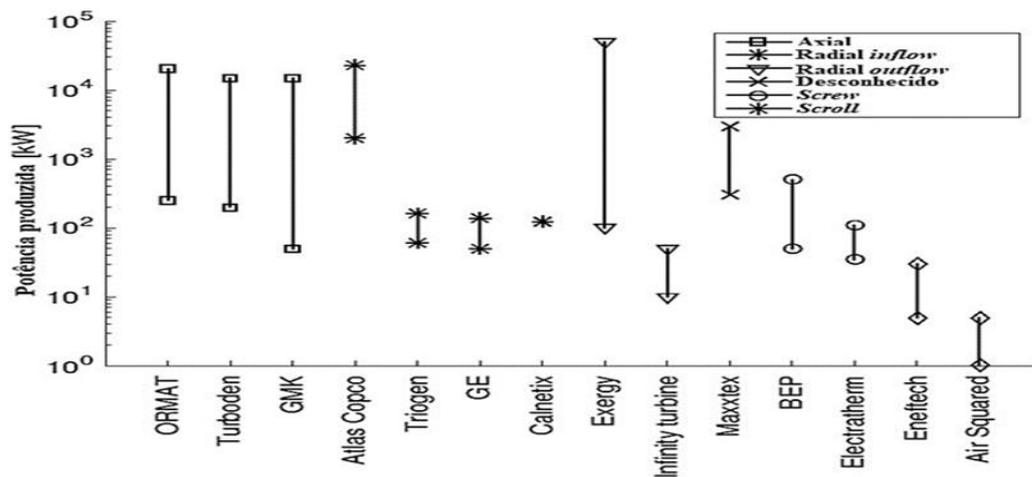


Figura 3 – Escolha do tipo de expensor
Fonte: White (2015)

2.2.4 Método da Linha Média

O método da linha média foi desenvolvido pela NASA (National Aeronautics And Space Administration) e este considera o fluido num modelo unidimensional sendo usado para interior da turbina radial para cálculo de dimensionamento de máquinas. Este método se baseia nas equações de conservação: primeira e segunda leis da termodinâmica, estuda as mudanças de estado do fluido nas máquinas entre elas, a turbina, na equação da continuidade de movimento linear e angular e com isso é possível avaliar os estados termodinâmicos, as variáveis fluidodinâmicas de escoamento (vazão e pressão), conservação de momento linear e angular e, com isso, também fazer o cálculo das perdas de entalpia na passagem do fluido (WEI, 2014).

O método da linha média consiste basicamente em usar o fluxo unidirecional para analisar o escoamento no interior da turbina radial, para cada componente da turbina. O método analisa o desempenho da turbina ao longo da linha média e

desenvolve os resultados que podem ser aplicados para toda a turbina. (WEI,2014) apud (SIQUEIRA NETO,2020). Com isso, é possível obter os parâmetros preliminares do pré-projeto da turbina radial, fornecida pelas dimensões médias do estágio (raios, ângulo, comprimento do rotor, largura das pás, números de pás e perdas de entalpia) e a geometria dos componentes (voluta, rotor e estator) (MANTEGAZZA, et al,2017). O método da linha média, pode ser usado para simular com oito fluidos e identificar a otimização de parâmetros pode ser gerada, pela variação de temperatura, vazão e pressão na entrada da turbina, para análise de otimização e eficiência, conforme estudos de (RAHBA,2015a) apud (SIQUEIRA NETO, 2020).

3. METODOLOGIA

O presente trabalho usa o método conforme OLIVEIRA NETO (2021), que consiste em usar o método da linha média para definir a geometria dos componentes e através dos cálculos determinar as curvas de performance de uma turbina radial para análise dos parâmetros para o projeto. Outros autores como Rahbar et al (2014) também usam o referido método para o dimensionamento de uma turbina radial e segundo Dixon e Hall *apud* MANTEGAZZA *et al.* (2017), para um projeto de turbinas com boa eficiência e com alta expansões.

O método da linha média pode ser empregado para centrais energéticas onde se utiliza a recuperação do calor residual empregando, por exemplo, o ciclo ORC para esse fim. Além de oferecer alternativas econômicas, pode ser usado na produção de energia elétrica aumentando a potência e eficiência.

Diante disso, são sequenciadas as etapas de desenvolvimento do método proposto para o dimensionamento da turbina radial:

- 1ª Etapa – Dimensionamento e obtenção de dados termodinâmicos (vazão, pressão e temperatura); nesse expensor. A vazão foi definida para os valores (0,01 kg/s; 0,05 kg/s; 0,10 kg/s; 0,20 kg/s ;0,30 kg/s), as pressões (500 kPa; 1.000 kPa; 1.500 kPa; 2.000 kPa; 2.500 kPa; 3.000 kPa; 3.500 kPa; 4.000 kPa) e temperatura (300 °C). Foi definido desta forma, pelo motivo de operarem em um ciclo de recuperação de energia (ORC), trabalha em baixas vazões e facilita a evaporação do fluido de trabalho no

evaporador. As pressões são devidas as faixas de operações do ciclohexano e a temperatura de entrada é fixa por que está saindo do evaporador e chegando na turbina com a referida temperatura de entrada (OLIVEIRA NETO, 2021).

- 2ª Etapa – Determinar os ângulos de entrada e saída do rotor, a partir do triângulo de velocidades, também, determinar o diâmetro do rotor, altura das pás, largura das pás e o número de pás do rotor. O diâmetro foi o mesmo adotado por (WEI,2014) e (OLIVEIRA NETO,2021), a altura das pás, largura das pás e o número do rotor obtidas nas fórmulas específicas (equações 8 a 15).
- 3ª Etapa – Fazer o cálculo de Primeira Lei da Termodinâmica, que considera a turbina como ideal (isentropica) e são calculados a variação de entalpia (variação de energia, calor e trabalho) e, assim, a potência produzida.
- 4ª Etapa – Fazer o cálculo de Segunda Lei (irreversibilidades), que são as perdas de entalpia no escoamento do fluido pelos componentes da turbina.

No interior da turbina, a velocidade do escoamento é decomposta em três componentes: radial, axial e tangencial. Os valores para as componentes podem ser calculados pelo triângulo de velocidades que pode ser visto na figura (4), que é a representação de um rotor e que no caso existe uma entrada, que é chamado de (a) entrada do rotor e também a saída (b) do mesmo, está presente nas turbinas radiais, o fluido escoar para entrada do rotor com a velocidade absoluta (C_4) e com o ângulo (α_4). Existe ainda uma velocidade vertical (C_{m4}), igual a velocidade radial do rotor, inexistindo, por consideração, a velocidade axial, e um componente de velocidade tangencial ($C_{\theta 4}$). O rotor gira num sentido enquanto o escoamento, faz o sentido inverso. O rotor gira com uma velocidade linear (U_4), sendo que (U_4) é dado pelo produto de (C_{m4}) pelo raio do eixo do rotor, que por subtração vetorial (C_4) tem como resultado a velocidade do fluido, (W_4) com o ângulo de escoamento (β_4). Sendo a mesma velocidade vertical (C_{m4}), porém com uma componente tangencial relativa ($W_{\theta 4}$). Para a saída do rotor, o triângulo de velocidades acontece de forma análoga, com a diferença que o fluido sai do rotor na direção axial (OLIVEIRA NETO, 2021).

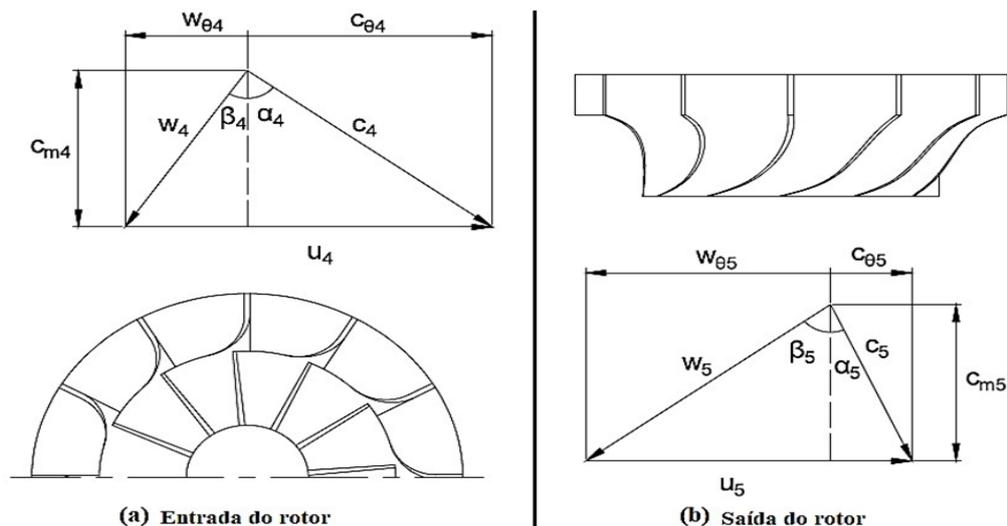


Figura 4- Triângulos de velocidade na entrada do rotor(a) e saída do rotor(b).
Fonte: White (2015)

As perdas podem ser contabilizadas conforme (WEI, 2014) e (ALSHAMMARIA *et al.*, 2018). Assim são subtraídas as perdas de energia (irreversibilidades) para cada parte do equipamento (voluta, estator e rotor), de acordo com (RABAH *et al.*, 2014), com isso se aproxima de uma turbina real conforme mostra a figura (5). Tal figura mostra a representação esquemática da geometria da turbina e determina a perda de entalpia para uma turbina real para cada equipamento (voluta, estator e rotor), sendo notório a maior perda para o rotor. (KIM e KIM,2017) traz o cálculo o dimensionamento de uma turbina real como a diferença entre a variação de entalpia para a turbina isentrópica subtraída a variação de entalpia perdido total, aproxima-se dos valores de entalpia para uma turbina real.

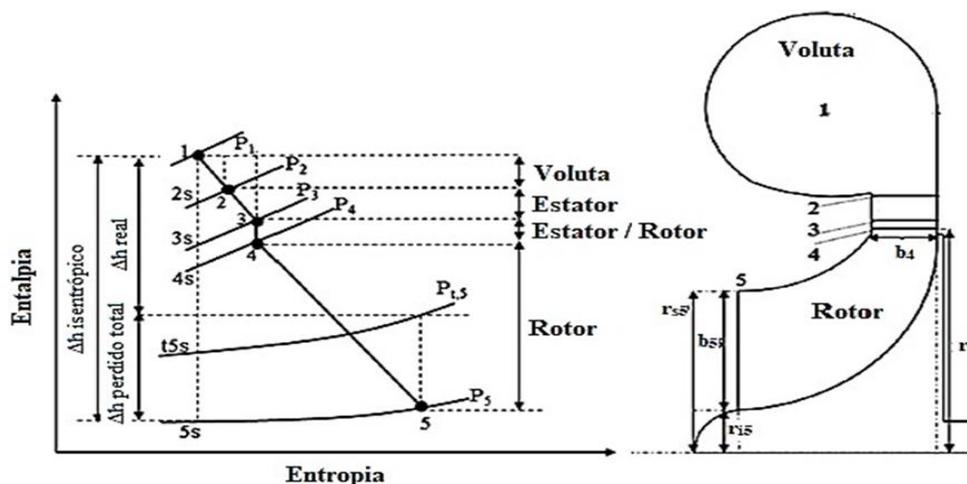


Figura 5- Irreversibilidade na turbina radial em cada equipamento
Fonte: RAHBAR *et al.* (2014)

A figura 5 mostra as entalpias em uma turbina ideal e sem perdas (representada pela linha pontilhada vertical) e a direita uma turbina real (representada por uma reta em declive) com as sucessivas quedas de entalpia com a geração de entropia (irreversibilidades). Quando o fluido entra pela voluta em alto estado energético e acontece uma queda de pressão e temperatura [1]. Quando passa pelo estator repetindo o processo de queda de pressão, temperatura, entalpia e ganha velocidade [2-3]. Passa pelo rotor/estator e mantém a entalpia constante e uma queda na temperatura e pressão [3-4]. A maior perda acontece no rotor, diminui a velocidade e há maior queda de pressão e temperatura [4-5].

O projeto foi analisado e feito no Excel com auxílio do pacote RefProp - software usado em engenharia para cálculo das propriedades do fluido como (entalpia, volume específico, entropia, pressão entre outros). Os resultados a partir dessa análise podem ser aplicados para fins de uso em projetos reais como pré-projeto, para determinação da viabilidade deste. Foi usado Excel, pelo fato do cálculo se tratar de um modelo unidimensional, onde há o interesse nos parâmetros geométricos (valores numéricos) e por ser um software baixa aquisição ou mesmo custo zero. Portanto, seria econômico e que atende as necessidades do projeto.

Para o presente trabalho constou o dimensionamento de uma turbina radial a vapor de um ciclo Rankine Orgânico para recuperação de calor. O fluido de operação é o ciclohexano, fluido de baixo ponto de ebulição e com alta capacidade de absorver calor (OLIVEIRA NETO, 2021).

3.1- DIMENSIONAMENTO DA TURBINA

A turbina é composta basicamente pela voluta de entrada, difusor de exaustão, bocais, rotor e paletas. Conforme mostra a figura (5).

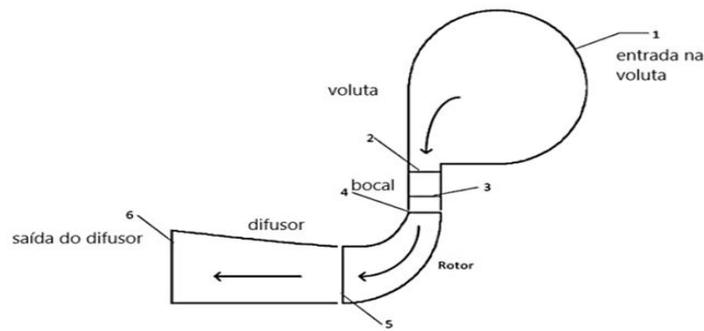


Figura 5 - Geometria da turbina radial
Fonte: Aungier, (2005) apud Wei, (2014).

A função da voluta é permitir a passagem do fluido de modo que o fluido descreve uma circunferência uniforme a uma taxa de fluxo de massa e pressão. O fluido entra na voluta (1) e escoam para o bocal (2) (que além de direcionar o escoamento para as pás, aumenta sua pressão), entre (3) e (4) existe o vão que distancia o bocal das pás do rotor em seguida entra no rotor (4), passa pelo difusor (que recupera parte da pressão do escoamento, devido a expansão nele) e sai do mesmo (6). Com isso, pela passagem no rotor formou-se um ângulo que é definido pelo triângulo de velocidades, construído pelas velocidades (radial, axial e tangencial), desta maneira é provocado um torque no rotor fazendo o mesmo se movimentar. A figura (6) mostra os parâmetros construtivos da turbina radial e o conseqüentemente o caminho do fluxo na turbina.

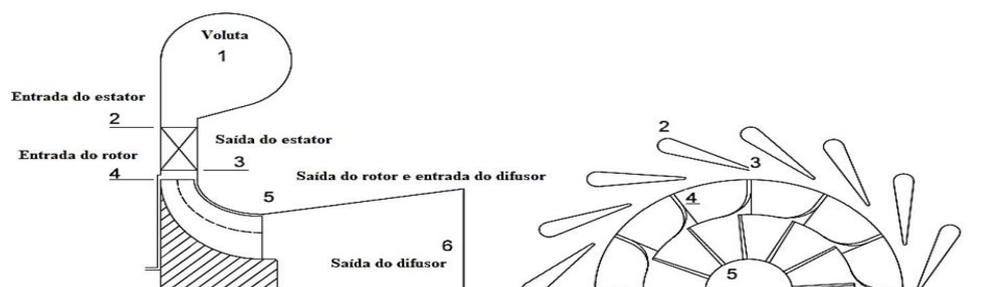


Figura 6: Esquema construtivo de uma turbina radial
Fonte: White (2015).

Para as turbinas radiais os raios médios r_5 , do rotor é definida pela equação (6) em que, r_5 é a média dos raios superior r_{35} e inferior r_{i5} das pás referente na saída do escoamento e usa-se o diâmetro médio:

$$A \quad r_5 = (r_{s5} + r_{h5}) / 2 \quad (6)$$

voluta descreve uma geometria espiral e linear na entrada. Moustapha *et al* (2003) propõe 0,1 de coeficiente para voluta, que o mesmo sugeriu. Descreve o cálculo da perda de entalpia na voluta em que C_4 é obtido pela continuidade do escoamento que passa pela área do estator definida como 5% de b_4 . Para as perdas de entalpia na voluta são descritas conforme a equação.

$$L_{vol} = 0,1 * \frac{C_4^2}{2} \quad (7)$$

As perdas de entalpia na entrada da turbina: Essa perda se refere uma irreversibilidade. O ângulo: β_4 é formado entre 20° e 40°, por causa do escoamento secundário que passa pela voluta, na condição de 0° não ocorre, logo se adota os ângulos de 20° e 40°, e W_4 é uma das componentes de velocidade, de acordo com OLIVEIRA NETO, (2021) conforme a equação (8).

$$L_{ee} = 0,5 * W_4^2 (\text{sen} \beta_4)^2 \quad (8)$$

O cálculo para as perdas devido ao atrito do fluido com as pás do rotor e que ocorrem perdas de energia cinética, de acordo com a equação (9):

$$L_{atr} = 0,11 \left[\left(\frac{L_h}{D_h} \right) + 0,68 \left(1 - \left(\frac{r_5}{r_4} \right)^2 \right) \frac{\cos(0,8 \cdot \beta_5)}{\frac{b_t}{c}} \right] \frac{W_4^2 + 0,7 \cdot W_5^2}{2} \quad (9)$$

Lh: Perda de entalpia específica [J/kg]

Dh: diâmetro hidráulicos médios das pás

r4: raio em [m]

β_5 : ângulo de saída do rotor

c: velocidade no sentido positivo no triângulo de velocidades [m/s]

w5: velocidade no sentido negativo no triângulo de velocidades [m/s]

Para a tangente do ângulo β , o número das pás do rotor (N_R), comprimento das pás (L_h), diâmetro hidráulico (D_h), corda do rotor (c), largura média entre uma pá e a seguinte (b_t), calculadas pelas equações 10 a 15.

$$\tan\beta = 0,5(\tan\beta_4 + \tan\beta_5) \quad (10)$$

$$N_R = \frac{\pi}{30} (110 - \alpha_4) \tan\alpha_4 \quad (11)$$

$$L_h = \frac{\pi}{4} \left[\left(Z_R + \frac{b_4}{2} \right) + \left(r_4 - r_5 - \frac{b_t}{2} \right) \right] \quad (12)$$

$$c = 1,5 * \frac{b_4}{\cos\beta} \quad (13)$$

$$b_t = \frac{2\pi \cdot r_5 \cdot C_{m5}}{N_R \cdot W_5} \quad (14)$$

$$D_h = \frac{1}{2} \left[\left(\frac{4\pi \cdot r_4 \cdot b_4}{2\pi \cdot r_4 + N_R \cdot b_5} \right) + \left(\frac{2\pi(r_{s5}^2 - r_{i5}^2)}{\pi(r_{s5} - r_{i5}) + N_R \cdot b_5} \right) \right] \quad (15)$$

Perdas pelos vãos entre carcaça e rotor (L_{vs}) que é calculado pelo vazamento devido o espaço entre estas duas partes. Conforme as equações 16 a 18.

$$L_{vs} = \frac{u_4^3 \cdot N_R}{8\pi} (0,4 \cdot \varepsilon_a \cdot C_a + 0,75 \cdot \varepsilon_r \cdot C_r - 0,3 \sqrt{\varepsilon_a \cdot \varepsilon_r} \cdot C_a \cdot C_r) \quad (16)$$

$$C_r = \left(\frac{r_{s5}}{r_4} \right)^2 \frac{Z_R \cdot \frac{1 - \left(\frac{r_{s5}}{r_4} \right)^2}{b_4}}{C_{m5} \cdot r_5 \cdot b_5} \quad (17)$$

$$(18)$$

u_4 : velocidade [m/s]

NR : número de pás do rotor e estator

ϵa : folga axial entre o rotor e a carcaça da turbina [mm]

C_a : perda axial

c_r : perda radial

ϵr : folga radial entre o rotor e a carcaça da turbina [mm]

Onde: r_5 : raio da entrada do rotor [m]

r_4 : raio do rotor e a voluta [m]

c_{m4} : componente de velocidade vertical

b_4 : largura [m]

As perdas por atrito no disco do rotor acontecem por causa do fluxo do fluido entre o disco e o rotor, localizado numa área atrás das pás e a carcaça, que é uma região de folga pequena entre os componentes, a qual é submetida aos atritos de fluido, e aparece um torque de desaceleração do rotor. A folga tem o tamanho de 4% da largura do rotor (b_4) e o número de Reynolds calculado como uma média das propriedades dos fluidos, na entrada e saída do rotor de acordo com (WEI,2014) apud (MANTEGAZZA,2017), expresso pela equação (19).

$$Re = \frac{\bar{\rho} \bar{C}_{4-5} \cdot r_4}{\bar{\mu}} \quad (19)$$

As perdas por atrito no disco (L_{vt}), o coeficiente laminar (K_f): e o escoamento laminar, coeficiente de atrito do cisalhamento de fluxo do fluido (K_f) e para a perda de fluido, conforme as equações (20,21,22):

$$L_{vt} = K_f \frac{\bar{\rho} \cdot u_4^3 \cdot r_4^2}{2 \cdot m \cdot W_5^2} \quad (20)$$

Re: número de Reynolds

$\bar{\rho}$: massa específica [kg/m³]

\bar{C} : velocidade no sentido positivo no triângulo de velocidades [m/s]

u : velocidade [m/s]

$$L_{st} = \frac{c_5^2}{2} \quad (21)$$

$$K_f = \left\{ \begin{array}{l} \frac{3,7 \left(\frac{\varepsilon_4}{r_4}\right)^{0,1}}{R_e^{0,5}} ; R_e \leq 10^5 \\ \frac{0,102 \left(\frac{\varepsilon_b}{r_4}\right)^{0,1}}{R_e^{0,2}} ; R_e > 10^5 \end{array} \right\} \quad (22)$$

L_{vt} : Perda de entalpia nos vãos entre carcaça (voluta) e rotor [J/kg]

K: Constante da correlação entre equipamento e capacidade ou tamanho

f: Fator de custo com operação, manutenção e seguro de instalação

$\bar{\rho}$: massa específica [kg/m³]

u: velocidade [m/s]

m: vazão de massa [kg/s]

W: velocidade no sentido negativo no triângulo de velocidades [m/s]

ε_b : folga traseira entre o rotor e a carcaça da turbina [mm]

Como o trabalho realizado tem perdas, então pode ser calculado o rendimento de 2ª lei (η_{II}) de acordo com a equação (23):

$$\eta_{II} = \left(\frac{\Delta h_{ise} - \Sigma L}{\Delta h_{ise}} \right) 100\% \quad (23)$$

η_{II} :

eficiência de Segunda Lei da Termodinâmica

Δh : variação da entalpia específica [J/kg]

ΣL : somatório do comprimento

Para o cálculo da vazão (\dot{Q}_v) pode ser feito com a equação (24):

$$\dot{Q}_v = \frac{\dot{m}_{wf}}{\rho_s} \quad (24)$$

\dot{Q}_v : vazão volumétrica [m³/s]

\dot{m}_{wf} : vazão de massa [kg/s]

ρ : massa específica [kg/m³]

$$\eta_s = \frac{\omega \sqrt{\dot{Q}_v}}{(\Delta h_{real})^{0,75}} \quad (25)$$

A velocidade nominal (η_s) pela equação (25):

Para o trabalho (W) de 1ª Lei pode ser descrito com a equação (26):

$$W = \dot{m} \cdot \Delta H \quad (26)$$

Para a nova eficiência (η'_{II}) pode ser feito pela equação (27):

$$\eta'_{II} = 0,87 - 1,07(\eta_s - 0,55)^2 - 0,5((\eta_s - 0,55))^3 \quad (27)$$

η'_{II} : eficiência de Segunda Lei da Termodinâmica

η_s : velocidade nominal

Como todo projeto pode partir da premissa de outro ou pegar valores de dimensões baseados em outros autores. Nos cálculos das perdas do atrito do fluido com as pás foi considerado sugestão de Wei (2020) de 25 mm para o raio e outros valores baseados conforme o trabalho de Oliveira Neto (2021). Os valores são mostrados na seguinte tabela (1).

Tabela1- Dimensões construtivas da turbina radial

β_4	-20°
α_4	70°
β_5	-70°
α_5	20°
r_4	25 mm
r_{55}	19,5 mm
r_{i5}	5 mm
r_5	12,25 mm
b_4	5 mm
b_5	10 mm
N_R	12 mm
Z_R	75 mm
ϵ_a	0,4 mm
ϵ_r	0,4 mm
ϵ_b	0,4 mm

Fonte: Oliveira Neto, (2021)

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A presente pesquisa baseou-se no método da linha média para o dimensionamento da turbina e definição do ponto do projeto (condição em que a turbina se encontra-se em eficiência máxima). Considerou-se a turbina como isentrópica e logo depois foram descontadas as irreversibilidades, onde pode-se obter a uma turbina real.

O fluido de trabalho foi o ciclohexano por ter propriedades consideradas adequadas para um ciclo ORC de recuperação de calor de baixa ou média temperatura. O estudo foi desenvolvido com auxílio do software de programação Excel. Primeiramente, foram determinados os parâmetros de pressão (500 kPa a 4.000 kPa) devido a faixa de operação do ciclohexano, até a sua desnaturação e temperatura de entrada é fixa (300 °C), o fluido no estado de vapor vem do evaporador e a vazão (0,01 kg/s a 0,30 kg/s), as vazões são baixas para possibilitar a evaporação do fluido no evaporador, de acordo com (OLIVEIRA NETO,2021).

Com a variação dos parâmetros supramencionados e os dados geométrico de projeto, foi possível analisar as curvas de performance do expensor (potência) conforme a figura (8), encontrou-se então que no aumento da vazão e pressão a potência também aumenta. A figura 8 mostra o gráfico de potência produzida e eficiência isentrópica para a rotação de 50.000 rpm com pressão e vazão variando

em quaisquer dos gráficos produzindo uma eficiência de 86,32% para uma baixa pressão e estável para vazões menores.

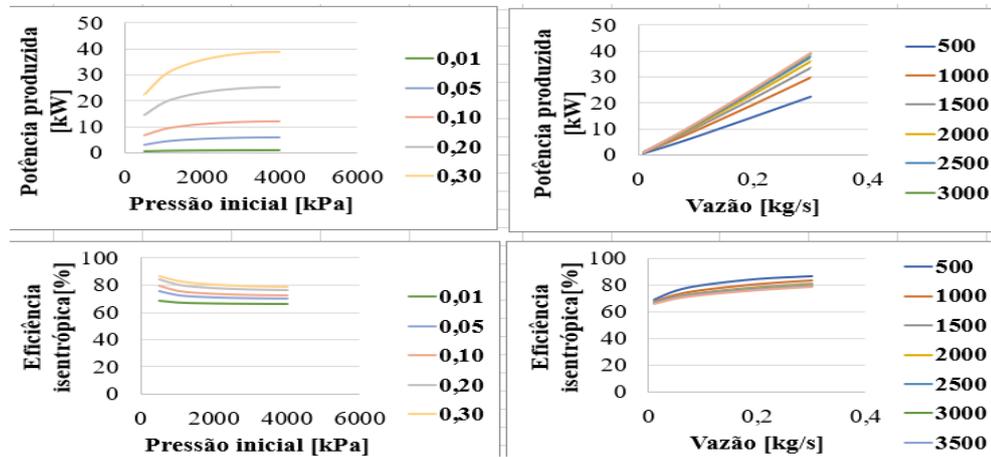


Figura 8- Curvas de funcionamento. 50.000rpm
Fonte: Autores (2021).

A figura 9 mostra uma rotação de 100.000 rpm, sucessivos pontos de vazão e respectivos aumentos vazão (0,01 kg/s a 0,3 kg/s), variando a pressão de evaporação, a potência também aumenta. Para as eficiências isentrópicas de vazão menores, existe uma estabilidade e a maior variam a eficiência para 86,78%.

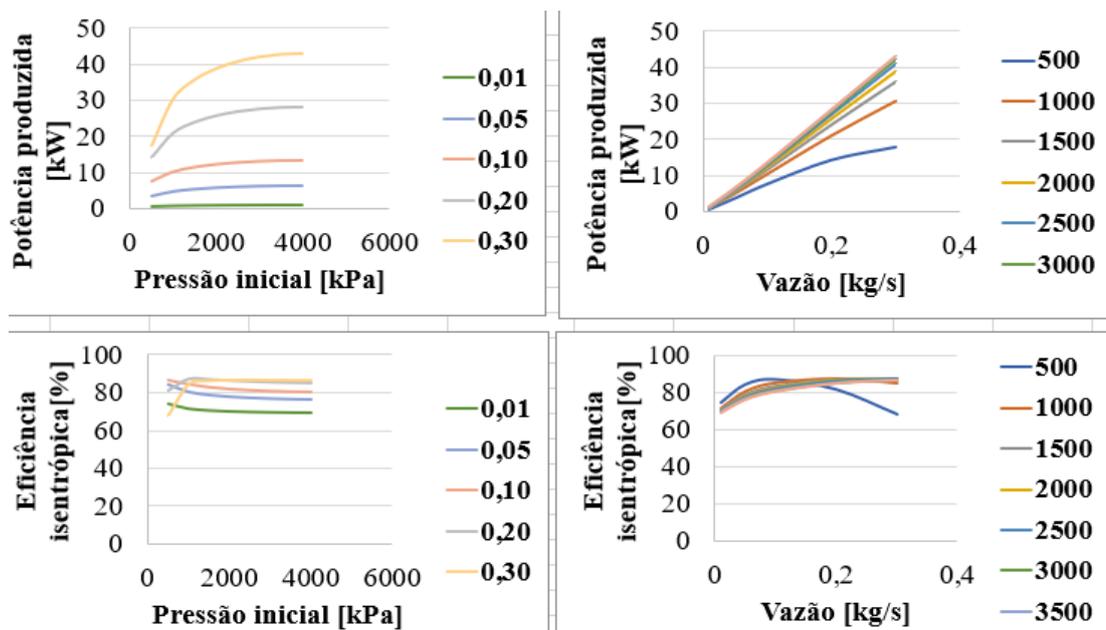


Figura 9 - Curvas de funcionamento -100.000rpm
Fonte: Autores (2021)

A figura 10, para o estudo da produção de potência a curva cresce, porém apresenta potência inferior em relação a rotação anterior de 100.000 rpm. Para a eficiência isentrópica ocorre a estabilização para as vazões menores, à medida que a pressão aumenta.

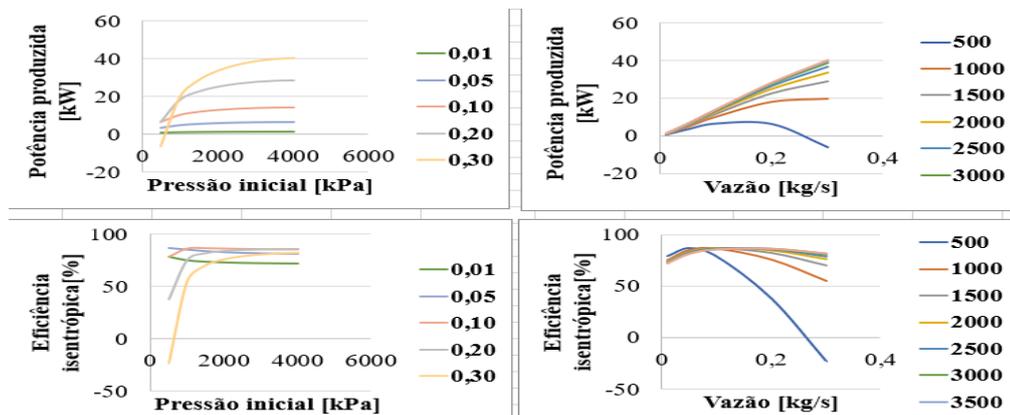


Figura 10 - Curvas de funcionamento -150.000rpm
Fonte: Autores (2021).

A potência produzida reduziu em relação a rotação anterior e a eficiência, para menores vazões (0,01 e 0,05 kg/s), tem uma estabilidade conforme a figura (11). Segundo (WEI,2014) e ALSHAMMARIA et al. (2018) apud (OLIVEIRA NETO,2021) é bom manter rotações de 20.000 a 70.000 rpm, pois os valores de potência produzida são baixos e acima disso o expensor se movimenta contra o fluido por causa da dos efeitos da inércia e, assim, contribui para a redução da potência.

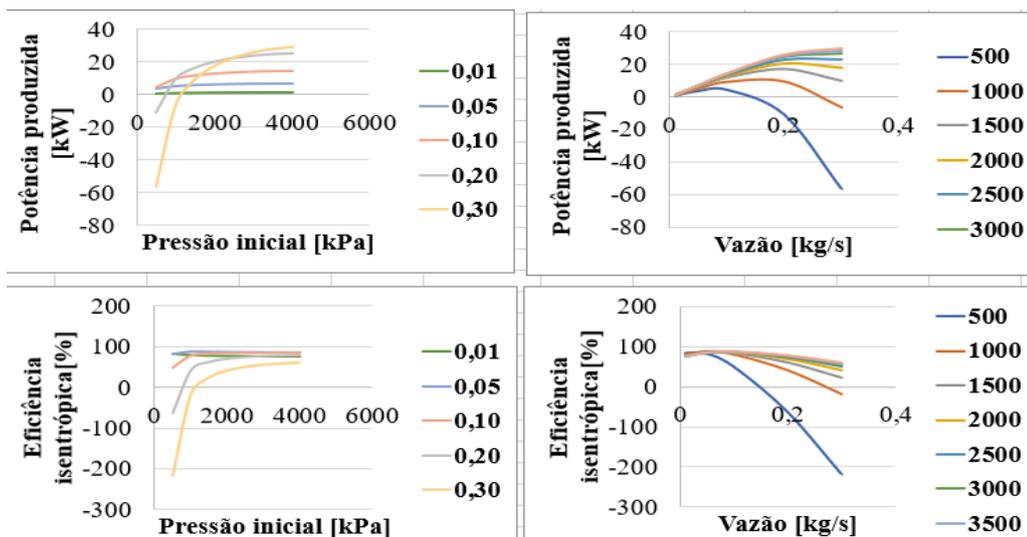


Figura 11-Curvas de funcionamento – 200.000rpm
Fonte: Autores (2021)

Segundo a tabela (1), a partir do aumento da rotação segue-se também um acréscimo na potência produzida, mas acima de 105.000 rpm os valores começam a decrescer, ocorrendo o mesmo para a eficiência.

Tabela 1- Potência x Eficiência

Rotação (RPM)	Potência (KW)	Eficiência (%)
50000	39,01	78,84
100000	42,94	86,78
150000	40,55	81,96
200000	29,46	59,54

Figura 9- Valores de Potência e Eficiência da Turbina Radial
 A Fonte: Autores, (2021).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que a produção de energia elétrica numa planta, se mantém crescente com o aumento das rotações mantendo-se constante a temperatura e variando a pressão e vazão. Analisou-se que para os parâmetros de escolha de pressão (4.000 kPa), vazão (0,30 kg/s) e temperatura (300 °C) o pré-projeto de turbina radial a vapor apresentou a eficiência isentrópica (86,78%) e potência (42,94 kw) para a rotação de 100.000 rpm, porém os valores de máxima eficiência(86,95%) e potência(43,03 kw) é alcançada para 105.000rpm . O estudo mostrou-se que

operando no ciclo Rankine orgânico e com o reaproveitamento energético e sustentável, o dimensionamento da turbina, pelo método da linha média, mostrou-se viável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de energia elétrica do Brasil.2020**.Disponívelem:<<http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/atlas3ed.pdf>> Acessado em: 04 de abril de 2021.

AIROLDI, Marcelo Laurentys. **Análise do Escoamento em Turbinas axiais e radiais para Aplicações em Microturbinas a gás**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – Departamento de Engenharia Mecânica, 2009.

BAZZO, Walter Antônio; PEREIRA, Luiz Teixeira do Vale. **Introdução a Engenharia. Conceitos, Ferramentas e Comportamentos**. Editora da UFSC, Florianópolis,2006.

ÇENGEL, Yunus A., BOLES, Michael A. **Termodinâmica**. 7ª edição. AMGH Editora Ltda. Porto Alegre,2013.

CUNHA, Igor Ossaille da. **Otimização de ciclo de turbina a vapor com três extrações utilizando o programa ipsepro**, Projeto de Graduação apresentado ao Departamento de Engenharia Mecânica da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2016.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA(BRASIL), **Balanco Energético Nacional 2020**.Ano base:2019. Disponível em: <www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes> Acessado em :04 de abril de 2021.

KIM, Jung Seong; KIM, **Preliminary design and off-design analysis of a radial output turbine for organic rankine cycles**. Journal Energy, Coreia,24 de abril de 2020. Edition of the number 2118.

LIO, L. D.; MANENTE, G.; LAZZARETTO, A. **A mean-line model to predict the design efficiency of radial inflow turbines in organic rankine cycle (orc) systems**. Applied Energy, Elsevier, v. 205, p. 187–209, 2017.

MANTEGAZZA, P.; CABEZAS-GOMÉZ, L.; MAGAZONI, F.C.; **Modelo de uma turbina Radial para o ciclo Rankine orgânico pelo método da linha média**. C.Q.D- Revista Eletrônica Paulista de Matemática,Bauru,V,10,p.50-67, dez.2017.Edição Ermac.

MIRANDA CARRILO, Rúben Alexis.Projeto **Análise de desempenho de turbinas radiais. Dissertação de Mestrado**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Itajubá, 2010.

MOUSTAPHA, H. et al. **Axial and radial turbines**. White River Junction: Concepts NREC,2003.

OLIVEIRA NETO, Rieder de; **Simulação Off-Design de um Sistema ORC para Recuperação do Calor Residual de um Motor de Combustão Interna**. Tese de Doutorado. Instituto Federal de Itajubá-Instituto de Engenharia Mecânica.Itajubá, fevereiro de 2021.

QUOILIN, S. et al. **Techno-economic survey of organic rankine cycle (orc) systems**, 2013.

RAHBAR K., MAHMOUD S., AL-DADAH R.K., MOAZAMI N. **Modelling and optimization of organic Rankine cycle based on a small-scale radial inflow turbine**. Energy Conversion and Management, v. 91, p. 186-198, 2014.

RIBEIRO, Leticia Costa. **Determinação da Configuração ótima de Ciclo Rankine Orgânico para Aproveitamento do Calor Rejeitado em Usinas Termelétricas com Motores de combustão interna**, Dissertação de Mestrado apresentado a Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, 2017.

SANTOS, Rafael Dias. **Recuperação de Calor utilizando ciclo Rankine orgânico em Usinas Termelétricas de potência a vapor**, Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, 2018.

SCAGNOLLATO, Guilherme. **Análises teóricas de ciclos Rankine Orgânicos e projeto de bancada de testes em pequena escala**. Dissertação de Mestrado. Engenharia Mecânica, São Carlos ,2020.

SEGALOVICH, Raísa Nocetti; WINTER, Anne Caroline. **Análise das condições de segurança em usinas eólicas**. 2018. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Elétrica, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

SIQUEIRA NETO, Celso Jacinto de, **Modelagem de uma turbina radial operando em um ciclo de Rankine orgânico**. Universidade de São Paulo, São Carlos , ano 2020.

VAN WYLEN; SONNTAG; BORGNAKKE. **Fundamentos da Termodinâmica**.

Tradução 6ª Edição Americana. Editora Edgard Blucher.2003.

WEI, Zicheng; **Meanline Analysis Of Radial Inflow Turbines At Design Off-Design Conditions**. Requirements for the degree of Master. Carleton Institute for Mechanical & Aerospace Engineering Department of Mechanical & Aerospace Engineering Carleton University Ottawa, Ontario, Canada, 2014.

WENZEL, Thiago Andrei. **Análise Termodinâmica e Simulação de um Ciclo Rankine Orgânico (ORC)**. Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Engenheiro Mecânico, Porto Alegre 2015.

WHITE M. **The design and analysis of radial inflow turbines implemented within low temperature organic Rankine cycles**. Submitted for the degree of Doctor of

Philosophy City University London School of Mathematics, Computer Science & Engineering Department of Mechanical Engineering & Aeronautics, september 2015.

.

.

ANEXO

Dados da turbina, raios médios e outros

Raios médios do rotor	$r_4=0,025\text{ m}$ $r_5 = (r_{s5}+r_{h5})/2=0,01225\text{m}$
Raios superior e inferior na saída do rotor	$r_{s5}=0,78r_4=0,0195\text{m}$ $r_{h5}=0,2r_4=0,005\text{m}$
Comprimento do rotor	$Z_r=15 \times b_4=0,075\text{m}$
Largura da pá - $(r_{s5}+r_{h5})/2$	$(r_{s5}+r_{h5})/2=b_4=r_4/5= 0,005\text{m}$ $b_5=b_4 \times 2=0,01\text{m}$
Perdas de entalpia na voluta	$L_{vol}=1125,0\text{ kJ/kg}$
Perda de entalpia na entrada da turbina	$L_{ee}= 174,3\text{ m}^2/\text{s}^2$
Perdas devido ao atrito do fluido com as pás do rotor	$L_p=8612,12\text{m}^2/\text{s}^2$
ângulo	$\beta = 53,7^\circ$
Número de pás	$N_r=12\text{ pás}$
	$L_h=0,0700\text{m}$
	$C=0,0139\text{m}$
	$b_t=0,0023\text{m}$
	$D_h=0,01061\text{m}$
Perdas pelos vãos entre a carcaça e o rotor	$L_{vs}=2249,939\text{m}^2/\text{s}^2$

Figura 13 – Dados da Turbina

Fonte: Autores 2021

Dados da turbina obtido pelo Triângulo de velocidade.	
α_4	70°
β_4	-20°
C_4	150
C_{u4}	140,9539
C_{m4}	51,3030
W_4	54,5955
W_{u4}	-18,6728
W_{m4}	51,3030
U_4	159,6267
α_5	20°
β_5	-70°
C_5	54,5955
C_{u5}	18,6728
C_{m5}	51,3030
W_5	150
W_{u5}	-140,9539
W_{m5}	51,3030
U_5	159,6267

Figura 14 – Dados do Triângulo de Velocidade
 Fonte: Autores, (2021).

Turbina isentrópica – Dados : Vazão e Fluido

TURBINA ISENTRÓPICA				
m [kg/s]				
0,01	0,05	0,10	0,20	0,30
	Fluido			
	Cyclohexane			

Figura 15 – Vazão e Fluido
 Fonte: Autores 2021

Pe [kPa]	Ps [kPa]	Te [°C]	Te [K]
500	100	300	573,15
1000	100	300	573,15
1500	100	300	573,15
2000	100	300	573,15
2500	100	300	573,15
3000	100	300	573,15
3500	100	300	573,15
4000	100	300	573,15

ρ_e [kg/m ³]
9,2
19,2
30,2
42,4
56,5
73,0
93,3
120,2

Figura 16 – Pressão, Temperatura e Densidade
 Fonte: Autores 2021

Se = Ss [kJ/kg.K]	Ts [°C]	Ts [K]	Xs	He[kJ/kg]	Hs [kJ/kg]
1,8	263,3	536,4	#Superheated vapor	810,9	724,5
1,8	246,1	519,3	#Superheated vapor	803,5	683,6
1,7	235,1	508,2	#Superheated vapor	795,4	657,7
1,7	226,3	499,4	#Superheated vapor	786,4	637,6
1,6	218,5	491,6	#Superheated vapor	776,4	620,1
1,6	211,1	484,2	#Superheated vapor	764,9	603,6
1,6	203,5	476,6	#Superheated vapor	751,2	587,1
1,5	195,0	468,2	#Superheated vapor	733,8	568,9

Figura 17 – Entropia, Temperatura de entrada e saída , Título e Entalpia de entrada e saída
 Fonte: Autores 2021

ΔH [kJ/kg]
86,4
119,9
137,6
148,8
156,3
161,2
164,1
165,0

Figura 18 – Variação de Entalpia
 Fonte: Autores

$$W = \dot{m} \cdot \Delta H$$

W [kW]				
0,8638	4,3189	8,6378	17,2755	25,9133
1,1992	5,9959	11,9919	23,9837	35,9756
1,3763	6,8817	13,7633	27,5267	41,2900
1,4882	7,4409	14,8818	29,7636	44,6453
1,5629	7,8144	15,6288	31,2577	46,8865
1,6121	8,0607	16,1214	32,2428	48,3642
1,6409	8,2045	16,4090	32,8179	49,2269
1,6495	8,2476	16,4953	32,9905	49,4858

Figura 19 – Trabalho
 Fonte: Autores

Vão radial, axial e lateral		
$\epsilon_a =$	0,0002	m
$\epsilon_r =$	0,0002	m
$\epsilon_b =$	0,0002	m
	0,04 * b4	

Figura 20 – Folga radial, axial e lateral

Fonte: Autores 2021

$$Re = \frac{\bar{\rho} \cdot \bar{C}_{4-5} \cdot r_4}{\bar{\mu}}$$

μ [10^{-3} Pa.s]	ρ [kg/m ³]	Re
12,568	5,542	1127,860
12,465	10,568	2168,124
12,456	16,086	3302,733
12,512	22,249	4547,480
12,637	29,279	5925,469
12,848	37,541	7472,531
13,190	47,702	9249,153
13,768	61,215	11371,210

Figura 21- Números de Reynolds, Densidade e Pressão
Fonte: Autores 2021

$$C_a = \frac{1 - \left(\frac{r_{s5}}{r_4} \right)}{C_{m4} \cdot b_4}$$

$$C_a = 0,858$$

$$C_r = \left(\frac{r_{s5}}{r_4} \right) \frac{Z_R - b_4}{C_{m5} \cdot r_5 \cdot b_5}$$

$$C_r = 8,688$$

Kf
0,068
0,049
0,040
0,034
0,030
0,026
0,024
0,021

$$K_f = \begin{cases} \frac{3,7 \left(\frac{\epsilon_b}{r_4} \right)^{0,1}}{Re^{0,5}} & ; Re \leq 10^5 \\ \frac{0,102 \left(\frac{\epsilon_b}{r_4} \right)^{0,1}}{Re^{0,2}} & ; Re > 10^5 \end{cases}$$

Figura 22 – Coeficiente de Atrito do cisalhamento de fluxo do fluido
Fonte: Autores 2021

Lvt [m ² /s ²]				
2,128	0,426	0,213	0,106	0,071

2,927	0,585	0,293	0,146	0,098
3,610	0,722	0,361	0,180	0,120
4,255	0,851	0,426	0,213	0,142
4,906	0,981	0,491	0,245	0,164
5,601	1,120	0,560	0,280	0,187
6,397	1,279	0,640	0,320	0,213
7,404	1,481	0,740	0,370	0,247

Figura 23 – Perdas de Entalpia nos Vãos entre carcaça e rotor
Fonte: Autores 2021

$$L_{vt} = K_f \frac{\bar{\rho} \cdot u_4^3 \cdot r_4^2}{2 \cdot m \cdot W_5^2}$$

Perdas na saída do fluido

$$L_{st} = \frac{c_5^2}{2}$$

$$L_{\varepsilon} = 1490,336 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

Perdas TOTAIS [kJ/kg]

13,64386	13,64216	13,64195	13,64184	13,64180
13,64466	13,64232	13,64203	13,64188	13,64183
13,64534	13,64246	13,64209	13,64191	13,64185
13,64599	13,64258	13,64216	13,64195	13,64188
13,64664	13,64271	13,64222	13,64198	13,64190
13,64733	13,64285	13,64229	13,64201	13,64192
13,64813	13,64301	13,64237	13,64205	13,64195
13,64914	13,64321	13,64247	13,64210	13,64198

Figura 24 – Perdas Totais
Fonte: Autores 2021

Curvas de Funcionamento

n ise [%]	m [kg/s]				
	0,01	0,05	0,10	0,20	0,30
500	84,2044	84,2064	84,2066	84,2067	84,2068
1000	88,6217	88,6237	88,6239	88,6241	88,6241
1500	90,0857	90,0878	90,0881	90,0882	90,0883
2000	90,8304	90,8327	90,8330	90,8331	90,8332
2500	91,2683	91,2708	91,2711	91,2713	91,2713
3000	91,5346	91,5374	91,5378	91,5379	91,5380
3500	91,6825	91,6856	91,6860	91,6862	91,6863
4000	91,7254	91,7290	91,7295	91,7297	91,7298

$$\eta_{II} = \left(\frac{\Delta h_{ise} - \sum L}{\Delta h_{ise}} \right) 100\%$$

Figura 25 – Eficiência Isentrópica
Fonte: Autores 2021

Pe [kPa]	m [kg/s]				
	0,01	0,05	0,10	0,20	0,30
500	1,9045	1,9045	1,9045	1,9045	1,9045
1000	1,9693	1,9693	1,9693	1,9693	1,9693
1500	2,0138	2,0138	2,0138	2,0138	2,0138
2000	2,0506	2,0506	2,0506	2,0506	2,0506
2500	2,0843	2,0843	2,0843	2,0843	2,0843
3000	2,1175	2,1175	2,1175	2,1175	2,1175
3500	2,1527	2,1527	2,1527	2,1527	2,1527
4000	2,1935	2,1935	2,1935	2,1935	2,1935

Figura 26 – Pressão /Vazão
Fonte: Autores 2021

Q5 [m³/s]	m [kg/s]				
	0,01	0,05	0,10	0,20	0,30
500	0,0053	0,0263	0,0525	0,1050	0,1575
1000	0,0051	0,0254	0,0508	0,1016	0,1523
1500	0,0050	0,0248	0,0497	0,0993	0,1490
2000	0,0049	0,0244	0,0488	0,0975	0,1463
2500	0,0048	0,0240	0,0480	0,0960	0,1439
3000	0,0047	0,0236	0,0472	0,0945	0,1417
3500	0,0046	0,0232	0,0465	0,0929	0,1394
4000	0,0046	0,0228	0,0456	0,0912	0,1368

$$\dot{Q}_v = \frac{\dot{m}_{wf}}{\rho_s}$$

Figura 27 – Vazão volumétrica (m³/s)
Fonte: Autores 2021

ns		m [kg/s]						
		0,01	0,05	0,10	0,20	0,30		
Pe [kPa]	500	0,2570	0,5747	0,8127	1,1493	1,4076	ω [rpm]	ω [rad/s]
	1000	0,1902	0,4252	0,6014	0,8504	1,0416	150000	15707,963
	1500	0,1675	0,3746	0,5298	0,7492	0,9176	$n_s = \frac{\omega \sqrt{Q_v}}{(\Delta h_{real})^{0,75}}$	
	2000	0,1556	0,3479	0,4921	0,6959	0,8523		
	2500	0,1482	0,3315	0,4688	0,6629	0,8119		
	3000	0,1434	0,3206	0,4534	0,6412	0,7853		
	3500	0,1402	0,3134	0,4432	0,6268	0,7676		
	4000	0,1383	0,3091	0,4372	0,6183	0,7572		

Figura 28 – Velocidade Nominal
Fonte: Autores 2021

n' ise [%]		m [kg/s]					
		0,01	0,05	0,10	0,20	0,30	
Pe [kPa]	500	79,0717	86,9342	78,7106	37,8070	-23,2342	$\eta'_{II} = 0,87 - 1,07(n_s - 0,55)^2 - 0,5(n_s - 0,55)^3$
	1000	75,4753	85,4312	86,7110	75,9854	55,2042	
	1500	74,1449	83,9777	86,9565	82,3598	70,0617	
	2000	73,4237	83,0436	86,6504	84,5682	75,8439	
	2500	72,9713	82,4117	86,3206	85,5636	78,7617	
	3000	72,6697	81,9721	86,0461	86,0728	80,4266	
	3500	72,4689	81,6717	85,8402	86,3469	81,4172	
	4000	72,3498	81,4907	85,7097	86,4857	81,9615	

Figura 29 – Eficiência Isentrópica Corrigida
Fonte: Autores 2021

Wt real [kW]		m [kg/s]				
		0,01	0,05	0,10	0,20	0,30
Pe [kPa]	500	0,683	3,755	6,799	6,531	-6,021
	1000	0,905	5,122	10,398	18,224	19,860
	1500	1,020	5,779	11,968	22,671	28,928
	2000	1,093	6,179	12,895	25,171	33,861
	2500	1,140	6,440	13,491	26,745	36,929
	3000	1,172	6,608	13,872	27,752	38,898
	3500	1,189	6,701	14,085	28,337	40,079
	4000	1,193	6,721	14,138	28,532	40,559

Figura 30 – Trabalho Real
Fonte: Autores 2021

Wt ise [kW]		m [kg/s]				
		0,01	0,05	0,10	0,20	0,30

Pe [kPa]

500	0,9	4,3	8,6	17,3	25,9
1000	1,2	6,0	12,0	24,0	36,0
1500	1,4	6,9	13,8	27,5	41,3
2000	1,5	7,4	14,9	29,8	44,6
2500	1,6	7,8	15,6	31,3	46,9
3000	1,6	8,1	16,1	32,2	48,4
3500	1,6	8,2	16,4	32,8	49,2
4000	1,6	8,2	16,5	33,0	49,5

Figura
31 –
Trabalho
Isentrópico
Fonte:
Autores
2021

PLANO DE MANUTENÇÃO E LUBRIFICAÇÃO EM MAQUINÁRIOS DE BENEFICIAMENTO DE CAFÉ

Acadêmicos: Hiago Gomes Coelho e Isaac Welen Alvernaz Huebra

Orientador: Rieder de Oliveira Neto

Resumo

O café atualmente é a fonte de renda mais impactante em nossa região, porém grande parte dos produtores deste, não faz uso de manutenções necessárias em suas máquinas. Com o aumento na demanda da Mecanização dos processos de Beneficiamento da cultura, onde um dos fatores primordiais desta mecanização é a manutenção, a qual o proprietário sofre com as paradas inesperadas de seus equipamentos durante o processo do Beneficiamento. Este estudo tem como objetivo apresentar um plano de manutenção nos maquinários a fim de combater a quebras inesperadas e prolongar a vida útil do mesmo, sendo analisados os maquinários de diferentes produtores da cultura na região de Manhuaçu-MG. Para estas análises, foi necessário coletas de informações sobre as safras passadas em correlação com o histórico de manutenções e de paradas inesperadas dos maquinários por conta de quebras. Onde foi implementado um plano de ação visto a necessidade de se realizar as manutenções preditivas e preventivas nas janelas de entressafra, a qual o proprietário tem cerca de alguns meses com seus maquinários parados. Com tais fatos apresentados, conclui-se, que as práticas de manutenções elaboradas e aplicadas nos maquinários, são essenciais na redução de custos de modo geral.

PALAVRAS-CHAVE: Lubrificação; manutenção; café.

1.INTRODUÇÃO

O palco da maior produção de café do mundo no Brasil, emprega mais de oito milhões de trabalhadores para o cultivo do grão, onde a maioria dessa produção está originada no estado de Minas Gerais (REHAGRO, 2019).

Na safra de 2020, o estado de Minas Gerais, foi responsável por 55% de toda a produção do país, onde sua maior concentração de produção está localizada na região sul do estado com 54,4% de toda produção do estado, em um total de 18,2 milhões de sacas. A cafeicultura há vários anos, vem se desenvolvendo com um grande crescimento, hoje, sendo um dos setores mais produtivos está localizado no estado de Minas Gerais, ocasionando impacto direto, de forma positiva na região onde se tem o maior fluxo de produção. Com a produção de aproximadamente 33,5 milhões de sacas, alcançou-se um rendimento de 36,3% na safra de 2020, com relação à safra do ano anterior. Dessa forma deixando para trás o recorde da safra

de 2018, a qual conquistou um total de 33,4 milhões de sacas de café (EMATER, 2020).

Todo o café produzido por médios e grandes produtores recebem processos mecanizados, como exemplo: abanadores de galhos e folhas, roscas sem-fim para o deslocamento da matéria até os maquinários destinados, caixa seletora de grãos, despoldador de casca, secadores rotativos e caixas e máquina de limpeza do grão (beneficiadora). Porém, grande parte desses produtores deixa de gozar do uso de manutenções preditivas e preventivas em seus maquinários, ocasionados devido à falta de lubrificação e lubrificação incorreta dos componentes, acarretando assim, danos inesperados durante o seu processo de beneficiamento do café (EMATER, 2020).

O processo de colheita, que é efetuado de forma manual por grande maioria dos produtores, devido à situação topográfica de onde se cultiva a cultura do café (regiões íngremes). O processo de colheita é a operação mais enfadonha em questões a custo de produção, onde se tem um número elevado de escassez de mão-de-obra, junto de uma qualidade inferior da colheita, com perdas de matéria e danos a lavoura. Produtores de médio e grande porte estão visando à implementação de mecanização agrícola, a fim de se obter uma qualidade satisfatória em sua colheita (EMATER, 2020).

O processo de pré-limpeza e limpeza, tem considerável influência, na questão de qualidade e rendimento da matéria, grande parte dos produtores estão investindo em processos já mecanizados, visando um baixo custo operacional e econômico. Todos esses processos, que antes eram efetuados de maneira mais grosseiros (manual), impactavam diretamente na qualidade do café, acarretando a uma baixa qualidade e perda de produtividade do café (EMATER, 2020).

Com o número excessivo de acontecimentos na rotina dos produtores, acarretando inúmeros gastos, esse bem alto veio a ser prioridade a precaução e o estudo sobre os erros.

Como afirma Monchy (1987, p. 5) uma boa produção é o desejado a todo tipo de processo, e a manutenção correta, afeta positivamente na produção. A partir destes planos, é possível observar dados relacionados aos pontos de lubrificação, além da periodicidade, ferramentas de aplicação, quantidade, inspeção, dentre outros.

Dessa forma, o trabalho realizado teve o intuito de apresentar um plano de lubrificação e manutenção de todos os equipamentos do beneficiamento do café para diferentes produtores, pois a falta de manutenção e manutenção inadequada impacta diretamente na produção. Para tal, foi realizada uma pesquisa em campo, onde foram visitados produtores e, assim, identificadas a real situação de seus equipamentos, obtendo dados necessários para realizar a comparação entre as safras, a diferença entre custos de uma safra para a outra, junto ao volume de produção em redução de paradas inesperadas, melhorar o sistema de cotação de materiais sendo apresentado o plano de manutenção de forma correta, sendo realizado nas janelas de entressafra com o objetivo final de redução de gastos, durabilidade de seus equipamento e rendimento da produção.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico deste trabalho abrange conceitos e temas que serão analisados no decorrer do mesmo, com a finalidade de esclarecer o máximo possível dos assuntos abordados. Além disso, objetiva-se em dar embasamento a este material desenvolvido para que possa realizar uma análise qualitativa dos resultados.

2.1 PRODUÇÃO DE CAFÉ

Atualmente, o café é relevante fonte de receita para centenas de município, assim como, grande gerador de empregos no Brasil. De acordo com o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), a cadeia produtiva de café é responsável pela geração de mais de oito milhões de empregos no País, proporcionado assim renda, acesso à saúde e à educação para os trabalhadores e suas famílias.

Com uma área de cultivo de 2,16mi de hectare, isso contabilizando arábica e Conilon, a safra de 2020 teve um aumento de 1,4% em relação à safra de 2019. Grande parte de toda essa produção somando 1,76 milhões de hectares, é de café arábica, o que corresponde a 81% de toda a área de café no território brasileiro. Onde cerca de 1,237 mil está localizado dentro do estado de Minas Gerais. Tendo

crescimento contínuo nos últimos anos. (CONAB. 2021). As novas tecnologias que chegaram o clima favorável e a erradicação de áreas pouco produtivas foram os principais fatores para que a produção chegasse a esse número expressivo. Esse aumento graduado na produção do café, produtores estão visando o uso de mecanização de seus beneficiamentos da matéria.

2.2 MÁQUINAS DE BENEFICIAMENTO

Mediante a estas situações quanto à mão de obra, produtores estão visando evoluir em mecanização de seus equipamentos, tendo a função de otimizar o tempo de beneficiamento do café, como todos os equipamentos que o mesmo tem em seus terreiros. O produtor tem o poder de desfrutar destes benefícios a seu favor, com o intuito de melhorias da qualidade de sua fruta à sua mão de obra.

2.3 MANUTENÇÕES

Os maquinários de beneficiamento de café, de forma geral, necessitam de lubrificação para amenizar os desgastes e aumentar a durabilidade dos seus componentes. O pequeno e médio produtor de café que espera o ano inteiro pela época da safra, de fato não contam com paradas inesperadas para manutenção em meio sua produção de grãos, para que essas não atrasem todo o processo, porém, é de difícil acontecimento qualquer tipo de reparo preventivo/preditivo no final da safra realizada, deixando pendências em seus maquinários para a safra futura. As paradas e correções necessitam ser o mais breve possível em alta safra, o tempo é um fator determinante quanto à qualidade da matéria e rendimento financeiro, uma interrupção inesperada pode colocar muito a perder e o tempo a se recuperar pode colocar todo o cronograma a ser um fracasso. (EMATER, 2016).

O controle da qualidade da manutenção deve consistir em interferências pré-consideradas para averiguar de forma que as várias etapas do período de vida do equipamento possam ser identificadas, exemplificando, ou para mensurar a ação que melhore a confiabilidade e livrar-se de falhas que prejudiquem a qualidade, segurança e perda de equipamento.

As atividades de manutenção resultam de ações tomadas no dia-a-dia para prevenir ou corrigir eventuais anomalias ou falhas detectadas nos equipamentos pelos operadores da produção ou pelas equipes de manutenção. Estas atividades devem ser executadas sistematicamente pelos departamentos de produção e de manutenção através do cumprimento dos padrões de operação. Por sua vez as atividades de melhoria visam a melhorar as condições originais de operação desempenho e confiabilidade. O objetivo destas atividades é atingir novos patamares de produção. As atividades de melhorias requerem ações específicas que resultam na modificação de padrões e procedimentos existentes (XENOS, 1998, p.20)

Segundo Branco Filho (2008), espera-se que o gerenciamento da manutenção atinja alguns objetivos estratégicos: reduzir o tempo perdido e melhorar a eficiência do trabalho, e padronizar as tarefas e reduzir os desvios das metas por meio de medidas corretivas para as atividades de manutenção.

A manutenção traz inúmeros benefícios para a produção e sua organização, é peça fundamental na engrenagem do processo produtivo, a partir dela é que terá o aumento de segurança, pois um equipamento em perfeitas condições de funcionamento acaba trazendo segurança para o operador e para a própria produção. Acaba impactando também na qualidade final do produto, já que um equipamento ajustado vai garantir o desempenho desejado. Irá reduzir custos, uma vez que uma boa manutenção vai impactar em menos paradas, trazendo em seguida um maior poder de investimento, pois com a redução de custos, o capital para investir será cada vez maior.

Outro fator importante é a preservação do meio ambiente, com um bom regulamento das máquinas, há economia de recursos naturais e também a diminuição dos impactos ambientais.

Portanto: as atividades de manutenção devem ser interrompidas para se tornarem efetivas, isto é, não basta consertar o equipamento o mais rápido possível, mas o mais importante é preservar as funções do equipamento operacionais, evitar falhas no equipamento e reduzir a ameaça de desligamentos não planejados (KARDEC & NASCIF, 2009, p. 11).

Dos tipos de manutenção, três tem um maior destaque: Manutenção Corretiva, Manutenção Preditiva e Manutenção Preventiva. As três tem sua importância para um bom funcionamento de todos os equipamentos e cada uma tem

suas particularidades e formas de serem utilizadas. Analisando os tipos, é possível ter um embasamento quanto às intervenções que podem ser feitas no maquinário.

2.4 FALHAS

De acordo com a NBR 5462-1994 (Confiabilidade e Maneabilidade), falha consiste no “Término da capacidade de um item desempenhar a função requerida”.

Com a ocorrência de falhas no dia a dia dos negócios, sua pesquisa e prevenção passaram a ser uma prioridade, pois os custos decorrentes são muito elevados e colocam em risco a confiabilidade das máquinas e equipamentos.

Como existem vários tipos de equipamentos e máquinas, também vários tipos de falhas por conta de uma inadequada manutenção. A falha pode ser permanente, sendo obrigatório ter que trocar a peça para resolver o problema, em algumas máquinas pode ocorrer falha parcial, quando apenas alguma parte do equipamento funciona perfeitamente, o uso inadequado de um dispositivo que é colocado a trabalho numa condição muito superior do que a projetada também pode acarretar em falhas. A falha mais comum é por desgaste, sendo um ocorrido costumeiro, pois acontece pelo uso normal do componente, sendo uma deficiência já prevista.

2.5 IMPORTÂNCIA DA LUBRIFICAÇÃO

A lubrificação dos componentes está ligada a manutenções preventivas, a qual tem o intuito de execução do processo correto de lubrificação, uma vez que esse processo acontece devido à película que se forma pelo lubrificante utilizado entre os componentes do equipamento. Um tipo de película formada por lubrificantes, fluidos e aditivos entre as partes que se movem, reduzindo o calor e o atrito entre os componentes (MANG; DRESEL, 2007).

Segundo Teles (2018), o plano de lubrificação nada mais é que um passo a passo a ser seguido, orientando quais ações serão realizadas nos equipamentos, visando uma longa vida de seus maquinários, sendo realizadas pesquisas referentes aos tipos de manutenções feitas pelo proprietário e tipos de lubrificantes utilizados pelo mesmo em suas manutenções periódicas. Com paradas não programadas em seus maquinários, o proprietário prejudica todo o seu processo de produção,

impactando diretamente em seu faturamento, com isso a utilização de métodos de paradas para manutenções é de extrema importância para o proprietário.

3. METODOLOGIA

A metodologia adotada neste trabalho é a de uma pesquisa de campo e pesquisa bibliográfica. Em situações de campo, o foco desta pesquisa é de identificar as dificuldades que os produtores encontram em relação aos cuidados e manutenções periódicas dos seus maquinários utilizados durante todo o processo do beneficiamento do café. Para tal, foram realizadas visitas às propriedades dos senhores Custodio Pires, Assis Brasil e Bulinga, com o intuito de poder elaborar e implementar, planos de manutenções preventivas e preditivas.

Buscando demonstrar ao produtor um plano de ação, o qual aumentará a vida útil de seus equipamentos, reduzindo os gastos financeiros com manutenções corretivas, as quais geram uma enorme insatisfação dos proprietários dos maquinários analisados. Tais planos, tem o intuito de aumentar a confiabilidade dos equipamentos.

Para tais planos de manutenção, foi necessário o levantamento de dados de toda a estrutura de maquinários para o processo de beneficiamento. Tais dados são principalmente: forma de trabalho, números de horas trabalhadas em período de safra, manutenções realizadas durante esse período e vida útil de cada equipamento segundo seu fabricante.

Desta forma, a partir desses dados, foi elaborado um projeto, ou plano de manutenção em todos os maquinários da linha de beneficiamento de café, para as propriedades analisadas.

Para levantamento de dados e informações de fabricantes, foram realizadas pesquisas bibliográficas através de artigos, manuais, revistas entre outros. Com o intuito de chegar ao plano mais adequado em cada situação, utilizando os tipos e as quantidades de lubrificantes adequados, recomendados pelo fabricante, locais a serem checados com maior frequência e gráfico de manutenção, o qual aponta com qual constância é necessário à verificação de cada componente.

3.1 ESTUDO DE CASO EM FAZENDAS DA ZONA DA MATA DE MINAS GERAIS

A necessidade de otimização e melhorias na produção do café trouxe como solução a tecnologia das máquinas de beneficiamento de café para os produtores rurais. Segundo a CONAB, no ano de 2020 maior parte de toda a produção foi produzida no estado de Minas Gerais, que é o líder do país na produção de café. Grande parte desse feito se deve ao enorme auxílio de tantos maquinários que aceleram e trazem maior qualidade na produção do grão.

As propriedades utilizadas como objeto de estudo são: a fazenda de grande porte Fazenda Assis Brasil, médio porte Fazenda Bulinga e pequeno porte Fazenda Custodio Pires, tendo como prioridade e principal fonte de renda a produção do café.

3.2 DIFICULDADES ENCONTRADAS PELO PRODUTOR.

Muitas das vezes, uma parada inesperada do maquinário acontece por conta de uma falta de manutenção preditiva, considerada simples. Durante as visitas realizadas nas propriedades escolhidas tivemos o intuito de coletar os relatos dos produtores sobre a dificuldade encontrada por eles em realizar as manutenções adequadas e do acompanhamento para observar o estado em que se encontra o maquinário.

Realizado o levantamento de dados e o recolhimento de informações através de entrevistas específicas com os operadores dos maquinários e produtores das fazendas, ficou constado e foi perceptível que nenhum destes realizava manutenções preventivas e preditivas em seus maquinários, e deixam de lado o estado do equipamento.

Os maquinários eram submetidos ao trabalho até onde eles aguentavam a manutenção somente era realizada em momentos de urgência, corretiva. Nas três fazendas em que foram realizadas as visitas, nenhum dos produtores sabia do que a máquina era composta em sua totalidade, apenas superficialmente, alguns dos componentes dos maquinários, dificultando ainda mais a percepção de algum problema no equipamento. Todos se baseavam no método de manutenção “quebrou, arrumou” corretiva, pois para eles, quanto menos tempo gastassem com pequenas observações, paradas programadas para a realização da manutenção e lubrificação, iria ser melhor, pois resultaria em mais tempo de produção, quando na verdade de fato era ao contrário, deixavam de fazer pequenas paradas e corriam

sempre o risco de paradas inesperadas, que sempre gastavam um tempo muito superior e acarretavam em grande atraso da produção.

Outro ponto foi a falta de tempo para manutenções, alegaram que a temporada de safra é corrida e curta, não sobrando tempo para mais nada além de realizar a colheita e a pós-colheita sem parar e sem perder tempo, o que acontecia na verdade por falta de um planejamento pré - safra que não interferisse na época da colheita. Nessa coleta de informações com os produtores, ficou claro e evidente que importantes pontos eram o objetivo da dificuldade em que tinham de realizar manutenções preventivas e um acompanhamento ideal das máquinas, como: A falta de conhecimento do maquinário, a falta de tempo para realizar paradas no meio da safra, certo receio à adaptação de novas tecnologias com a insistência de continuar o trabalho de manutenção de um modo arcaico, nenhum planejamento para futuras paradas inesperadas, foram os pontos mais importantes encontrados através da entrevista com os produtores rurais.

3.3. MAQUINÁRIOS AVALIADOS

A máquina avaliada teve seus componentes analisados e transcritos para uma tabela. Na Tabela 1, podem-se observar os componentes e peças que compõem o queimador de palha e que irão fazer parte do sistema de revisão periódica, sendo identificados pelo nome e ao lado a quantidade de cada peça que situa na máquina em estudo.

Tabela 1 – Itens do queimador de palha

QUEIMADOR DE PALHA	QUANTIDADE
ARRUELA - 3/8"	2
ARRUELA - 5/16"	16
CABO PP 2X2.5	12
CORREIA - A30V	1
DISJUNTOR BIPOLAR 20 AMP	1
MOTOR 1/2CV 4P	1
PAINEL ELETRÔNICO ANALÓGICO	1
PARAFUSO - 1/4 X 1/2"	2
PARAFUSO - 3/8 X 3/4"	2
PARAFUSO - 5/16 X 1"	8
PARAFUSO 3/8 X 1/2"	2
POLIA - 070A 1 CANAL	1
POLIA - 090A 1 CANAL	1
PORCA - 1/4"	2
PORCA - 5/16"	8
REDUTOR	1
ESTRUTURA DO QUEIMADOR DE PALHA	1
ROSCA DO QUEIMADOR DE PALHA	1

Fonte: Gomes e Huebra (2021).

Na imagem percebe-se que todos os queimadores são montados na mesma posição para que a produção siga um padrão.



Figura 1 – Queimadores de palha.

Fonte: Gomes e Huebra (2021).

Nas fazendas onde ocorreu a coleta das informações, destacam-se dois tipos de fornalhas: Fornalhas de tubo e fornalhas retas (padrão). A Figura 2 mostra uma

fornalha em trabalho, com a tampa do seu cinzeiro aberta prestes a receber a lenha utilizada como fonte de calor na secagem do café.



Figura 2 – Fornalha no processo de reposição de lenha
Fonte: Gomes e Huebra (2021).

Na Tabela 2, observam-se os componentes e peças que compõem a fornalha e que irão fazer parte do sistema de revisão periódica, sendo identificados pelo nome e ao lado a quantidade de cada peça que situa na máquina em estudo.

Tabela 2 – Itens da fornalha

FORNALHA	1
ARRUELA - 3/8"	4
ARRUELA - 1/2"	8
ARRUELA - 5/16"	8
CORREIA - B079V	1
GONZO - 1/2"	2
MANCAL APOIO - P205	2
PARAFUSO - 1/2 X 2"	4
PARAFUSO - 1/4 X 2"	4
PARAFUSO - 3/8 X 2"	4
PARAFUSO - 5/16 X 1"	4
PARAFUSO S/ CABEÇA - 3/8 X 1"	4
POLIA - B100	1
POLIA - B120	1
PORCA - 1/2"	4
PORCA - 3/8"	22
PORCA - 5/16"	4
ROLAMENTO - UC 205	2

Fonte: Gomes e Huebra (2021).

A máquina contém chapas perfuradas onde as impurezas de tamanho menor e maior que o grão é separado, o acontece por conta da oscilação das peneiras, realizada por um sistema vibratório, como demonstra a Figura 3.



Figura 3 – Pré-limpeza desligada.
Fonte: Gomes e Huebra (2021).

Na tabela 3 a seguir estão os itens que irão fazer parte do sistema de revisão periódica, sendo identificados pelo nome e ao lado a quantidade de cada peça que compõe a pré-limpeza.

Tabela 3 – Componentes da pré-limpeza

PRÉ-LIMPEZA	1
ARRUELA - 1/2"	15
ARRUELA - 1/4"	1
ARRUELA - 5/16"	3
CORREIA TIPO "V" LISA B060	2
CORREIA TIPO "V" LISA B076	1
FECHO	1
GONZO 1/2"	4
MANCAL P207	4
MANCAL TENSOR FRM HC210 2"	1
PARAF. AUTO B. PHILIPS 4,2mm	36
PARAFUSO 1/2 1.1/2"	8
PARAFUSO 1/2 X 1"	4
PARAFUSO 1/2 X 2"	1
PARAFUSO 5/16 X 1"	5
PARAFUSO 5/16 X 1.1/2"	16
PARAFUSO 5/16 X 2"	3
PARAFUSO 5/16 X 3/4"	16

PARAFUSO S/ CABEÇA - 3/8 X 1"	6
POLIA 080B 3 CANAIS	1
POLIA 100B 2 CANAIS	1
POLIA 300B 1 CANAL	1
PORCA 1/2"	14
PORCA 3/4"	3
PORCA 3/8"	6
PORCA 5/16"	57
ROLAMENTO UC 207	4

Fonte: Gomes e Huebra (2021).

O misturador funciona em torno de muros de concreto, chamados de laje, onde são instalados baguetes por onde as roldanas do mexedor irão movimentar durante toda a área da laje. Duas roscas são utilizadas no processo de mexer o café, e percorrem o quadro da laje todo através de perfis de aço soldados.



Figura 4 – Misturador de café em montagem

Fonte: Gomes e Huebra (2021).

O misturador é composto mais por ferragens na parte estrutural do que componentes na parte de funcionamento, porém para que as roscas andem sobre a laje e por toda a extensão das chapas, são necessários alguns itens, identificados na Tabela 4.

Tabela 4 – Componentes do Misturador de café.

MISTURADOR	1
ARRUELA - 3/8	8
BARRA ROSCADA - ½	0,08
CORREIA TIPO "V" LISA B051	1
CORREIA TIPO "V" LISA B054	1
GONZO - ½	2
MANCAL APOIO - P205	4
PARAFUSO - 3/8 X 1.1/2	10
PARAFUSO - 3/8 X 2	2
PARAFUSO - 5/16 X ½	4
PARAFUSO SEXTAVADO INTERNO - 3/8 x ½	4
POLIA - 090B 1 CANAL	2
POLIA - 350B 1 CANAL	1
PORCA SEXTAVADA - ½	8
PORCA SEXTAVADA - 3/8	10
PORCA SEXTAVADA - 5/16 CHV ½	4
ROLAMENTO - UC 205	4
ROLDANA 2"	6

Fonte: Gomes e Huebra (2021).

3.4 ELABORAÇÃO DO PLANO DE MANUTENÇÃO E LUBRIFICAÇÃO

Tendo em vista toda a dificuldade do produtor, foi realizado um plano ao qual é de objetivo a otimização de tempo em relação as manutenções e evitar as paradas durante o processo de funcionamento de seus componentes. Onde foram analisados todos os equipamentos, seguindo orientação de seus fabricantes quanto ao tipo de manutenção e tempo em média a inspeções preventivas.

Foram realizadas planilhas de acompanhamento dos equipamentos, essas planilhas são compostas por dados os quais nos informa a quantidade de horas que cada equipamento trabalha durante o período de safra, levando em conta a quantidade de horas que deve ser realizada às manutenções preventivas. Considerando que durante as safras, a uma janela de entre safra, a qual é orientada ao proprietário a estar realizando entre este intervalo.

Em casos de maquinários compostos por rolamentos como queimador de palha, misturador e pré-limpeza é orientado que as manutenções ocorram no final de cada safra, para que se possa realizar a desmontagem de todos os componentes e

identificar possíveis danos, a fim de prevenir que os mesmos o impeçam de ter a próxima safra com sucesso. Sendo lavada de forma correta e executada uma nova lubrificação com os lubrificantes recomendados por seus fabricantes, respeitando as quantidades toleráveis.

Os maquinários que se tem contato ao fogo, como as fornalhas, foram analisados os sinais de desgaste das chapas de aço, devido ao fogo constante que a mesma se encontra durante sua operação. Considerando as tolerâncias dos aços utilizados a cada final de safra, o proprietário deve realizar a desmontagem e substituição das chapas com desgastes excessivos, utilizando chapas que suportem ao calor de trabalho.

3.5 BALANÇOS DA SAFRA ANTERIOR

Foram recolhidos dados nas três fazendas sobre paradas inesperadas, falhas, de como eram feitas as manutenções e lubrificações, da quantidade de café produzido para observar o impacto que essas paradas tiveram negativamente na produção. Na fazenda de grande porte Assis Brasil, localizada na cidade de Manhumirim – MG, a produção de café no ano de 2020 chegou ao número de 10 mil sacas, dando início no começo de março e fim em novembro. Segundo dados recolhidos internamente, na safra de 2020 aconteceram dez paradas inesperadas na soma de todo o maquinário, com a grande maioria sendo ocasionadas pelo rompimento de correias e travamento dos rolamentos nos mancais.

Na fazenda de médio porte Fazenda Bulinga, localizada na cidade de Manhuaçu – MG, a produção de café no ano de 2020 alcançou o número de 4.000 sacas produzidas. Segundo os dados recolhidos, houve cinco paradas inesperadas durante a safra, sendo quatro delas motivadas pelo rompimento de correias e travamento dos rolamentos nos mancais.

Na fazenda de pequeno porte Fazenda do Sr. Custódio, localizada em Manhuaçu – MG, a safra de 2020 atingiu números de 1080 sacas produzidas, com quatro paradas inesperadas, todas em componentes que foram observados. Diante dos dados recolhidos, observa-se que foram muitas paradas inesperadas em comparação com o tempo de trabalho realizado nas máquinas, atrapalhando e muito na produção, sendo essas paradas, a maioria atingindo exatamente os componentes

observados para desenvolver um acompanhamento específico para evitar essas paradas.

3.6 CRIAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DO CALENDÁRIO DE INSPEÇÃO

Essa etapa teve como objetivo a criação de um calendário para as inspeções e manutenções que se facilita o acompanhamento do desgaste da máquina de modo em que fosse respeitado certo tempo. Para isso, foi determinado o intervalo para re-lubrificação e checagem dos componentes, de acordo com a época da safra e do tempo de trabalho em que a máquina praticava durante esse período. Após ter sido criado o calendário, este foi colocado em prática.

O princípio da pesquisa se deu no fim da safra de 2020 nas três fazendas analisadas, para que se tivesse um padrão de análise nas três fazendas. Assim, a primeira etapa a cumprir deste plano foi à desmontagem dos componentes e equipamentos selecionados na análise das máquinas com o intuito de ser realizada a limpeza correta de cada um deles, seguido de uma análise observando a vida útil de cada. Feito a limpeza e análise, houve a lubrificação das peças antes de serem montadas novamente no maquinário conforme necessário.

Após todo o maquinário montado, os mesmos foram colocados em um breve funcionamento para que houvesse uma checagem dos ruídos, das temperaturas nas partes elétricas e das vedações, com o propósito de garantir que a montagem tenha sido feita corretamente, evitando algum problema futuro. Todas as peças fixadoras tiveram seus apertos conferidos, a fim de deixar tudo funcionando perfeitamente para o começo da safra no próximo ano.

3.7 CRIAÇÃO DA ORDEM DE SERVIÇO DE MANUTENÇÃO

Observa-se que nas fazendas em estudo as intervenções de manutenções são feitas sem nenhum pedido e sem nenhum controle financeiro e técnico. Quando acontece a falha, o funcionário responsável pela manutenção é avisado, que ciente do ocorrido, vai até a máquina realizar o reparo, sem nenhum registro do que pode ter acontecido do custo que vai ter, do tempo necessário para o reparo.

Com isso, foi elaborado uma ordem de serviço de manutenção, resultando como um checklist, contendo todas as informações necessárias para montar um histórico do maquinário.

O processo de criação e implantação da ordem de serviço foi um pouco conturbada por conta de os produtores serem acostumados a realizar o serviço de uma forma engessada, mas por fim, a ideia sendo acatada por todas depois da demonstração da funcionalidade que essa ficha traria pra produção e propriedade.

A ordem de serviço criada contém os seguintes dados:

- Equipamento / Data / Numeração / Motivo da falha / Hora da falha / Custo / Materiais necessários / Observações / Data do fim / Hora do fim;

A figura 5 mostra a ordem de serviço criada a qual será preenchida conforme a máquina está durando o processo de inspeção.

ORDEM DE SERVIÇO DE MANUTENÇÃO			
Equipamento:		Data:	Nº:
Motivo da falha:			
Hora:		Custo:	
Materiais necessários:			
Observações:			
Data	do	fim:	
Hora do fim:			

Figura 5 – Ordem de serviço de manutenção.

Fonte: Adaptado de Fulgêncio (2018).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com base nos dados coletados nas três fazendas, referentes as paradas inesperadas, os componentes de todos os maquinários, o modo com que eram feitas as manutenções, foi possível definir que a melhor maneira de obter sucesso com o plano era optar pela manutenção preventiva. Desse modo, foi possível definir os intervalos de lubrificação e manutenção das máquinas, de acordo com o estudo

implantado a fim de estabelecer como e quando realizar as manutenções e a lubrificações periódicas.

As tabelas referentes aos anexos A à D, são apresentadas fichas de inspeção sobre cada uma das máquinas analisadas, apresentando a quantidade de cada um dos maquinários em cada uma das três propriedades, seguida do plano com os intervalos da manutenção e lubrificação na máquina, com todos os componentes existentes no maquinário que necessitam da revisão correta no período correto. A tabela também apresenta a quantidade de cada componente que se encontra na máquina. Encadeado a isso, a tabela mostra a data inicial do plano, as atividades realizadas em cada componente do maquinário, o intervalo definido para as revisões, tendo alternância nos períodos de acordo com o período pré-safra e o período entre safra, e por fim, as datas definidas para as próximas revisões que aconteceram.

As tabelas foram criadas com o objetivo de definir os intervalos das revisões facilitando a vida do produtor rural, já que através das análises realizadas com os mesmos, foi repassada a dificuldade que eles tinham em estabelecer uma data para as revisões, ficando à mercê de um defeito em algum componente para realizar uma próxima manutenção no maquinário. Com as tabelas, o produtor terá todas as informações necessárias para realizar as revisões de forma correta, e assim diminuir as chances de quebras e paradas das máquinas.

Com os dados recolhidos, foi possível realizar uma comparação de paradas dos maquinários nas três fazendas em estudo, com os dados da safra anterior ao plano de manutenção, e com dados da safra em que foi implantado o plano.

As informações foram todas repassadas para gráficos, onde fica de maneira explícita a diferença na quantidade de revisões sem e com o plano. Cada maquinário teve a sua comparação feita em cada uma das fazendas. Desse modo, a diferença foi mostrada aos proprietários das fazendas, apresentando o quanto foi produtivo e eficaz o plano de manutenção durante a safra, economizando consideravelmente com gastos inesperados, reduzindo e muito o tempo com paradas, aumentando a vida útil dos equipamentos com o cuidado em intervalos corretos.

A Figura 6 mostra as paradas que aconteceram na Fazenda Custódio Pires em todas as máquinas, sem o plano e com o plano de manutenção. O eixo y

representa em números a quantidade em que cada máquina parou. Pode-se observar que na safra 2020 antes da implementação do plano, ocorreram duas paradas com o queimador de palha e com a pré-limpeza, onde resultou em perda de tempo e em prejuízo financeiro. Observa-se que na safra 2021 em que tiveram revisões periódicas através do plano, não aconteceu nenhuma parada em nenhuma das máquinas.

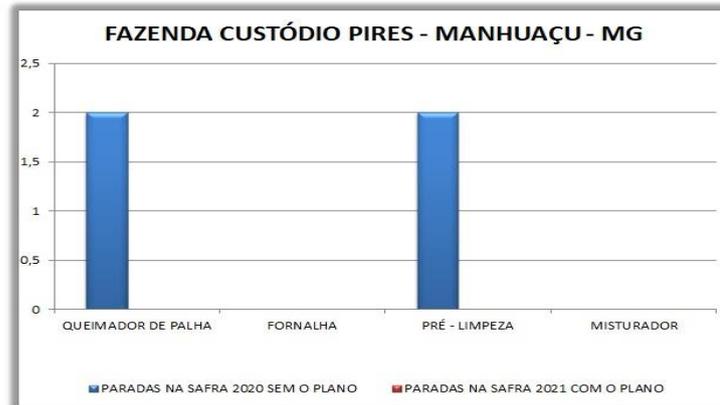


Figura 6 – Paradas realizadas na Fazenda Custódio Pires.
Fonte: Gomes e Huebra (2021).

Na Figura 7, os dados representados mostram as paradas que aconteceram na Fazenda Bulinga em todas as máquinas, sem o plano e com o plano de manutenção. É possível observar através do gráfico de comparação a discrepância entre a quantidade de paradas antes do plano e com o plano implantado, sendo que todas as máquinas apresentaram falhas na safra 2020 e apenas o queimador de palha sofreu uma parada na safra 2021. O eixo y representa em números a quantidade de paradas que ocorreram.

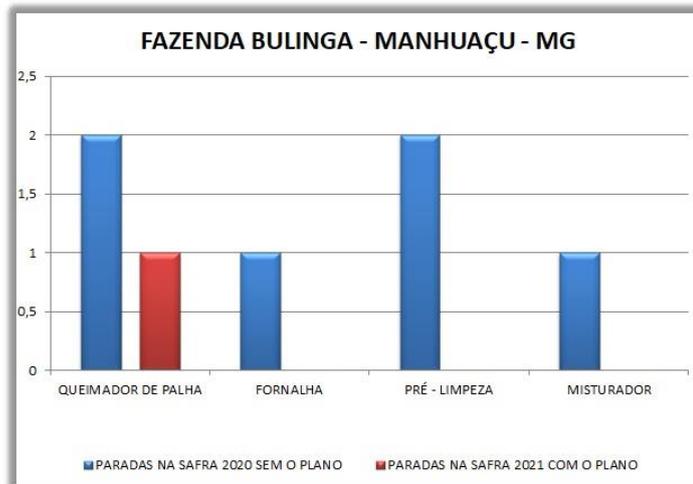


Figura 7 – Paradas realizadas na Fazenda Bulinga.
Fonte: Gomes e Huebra (2021).

Na fazenda de maior porte com o maior número de máquinas, na safra de 2020 teve treze paradas inesperadas por conta de falhas, distribuídas em três vezes nos queimadores, uma na fornalha, cinco nas pré-limpezas e quatro nos misturadores, números esses preocupantes por se tratar de uma safra com o tempo tão justo. Um número tão grande de falhas significa o péssimo acompanhamento das máquinas com revisões e observações necessárias. Já na safra 2021, aconteceram duas paradas por falhas com o plano de manutenção ativo, diminuindo em aproximadamente 500% as paradas como demonstra a Figura 8

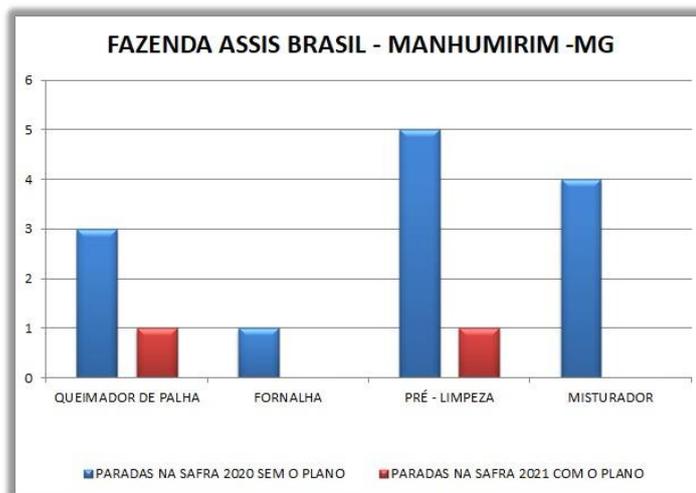


Figura 8 – Paradas realizadas na Fazenda Assis Brasil.
Fonte: Gomes e Huebra (2021).

As informações obtidas através dos produtores e dos gráficos das paradas para manutenção veem quantas vezes cada máquina parou inesperadamente antes

do plano, onde fica possível separar e observar qual maquinário apresentava mais problemas e se a diferença entre eles condiz realmente com o que seria comum de manutenções pelo porte das fazendas em estudo.

Apresentando os dados através de um gráfico, deu-se pra ter uma noção da diferença na quantidade em que cada máquina parou antes do plano de manutenção, possibilitando ver qual máquina apresentou mais defeitos, qual apresentou menos defeitos, e se realmente as paradas podem ser consideradas excessivas e absurdas.

O número excessivo de paradas em 2020 trouxe a tona o assunto sobre ser ou não normal o tanto de paradas, o que ficou evidente que não. Após essa análise, foi possível avaliar o que representou as paradas de cada máquina nas fazendas, porém não continha um histórico com dados armazenados com o que foi gasto e qual a falha que ocorreu apenas lembrança do que foi comprado, por isso a ideia de criar uma ordem de serviço foi colocada em prática.

Com a implantação da ordem de serviço de manutenção, foi possível obter um histórico para cada máquina e equipamento, fundamental para organizar o novo sistema de manutenção, uma vez que, todas as informações contidas na ordem de serviço ficarão organizadas em um histórico, o que possibilita saber todos os custos com componentes e equipamentos, os materiais utilizados nas manutenções, os motivos que causaram as paradas e o tempo das mesmas.

A partir das falhas, o responsável pela manutenção teve como função preencher manualmente os campos do requisitante, com todos os dados necessários, analisando a reparação do maquinário e preenchendo os campos do executante.

Posteriormente, as ordens de serviço são lançadas em um banco de dados, que armazena os dados e históricos dos equipamentos.

A partir da criação dessa ficha, os serviços de manutenções passaram a ser visto com outros olhos pelos proprietários das fazendas.

Na figura 9, observa-se uma ficha de ordem de serviço preenchida na Fazenda Assis Brasil. A partir desses dados, foi possível obter as informações necessárias para a manutenção, realizar o armazenamento dessa ficha para caso haja necessidade do recolhimento dos dados futuramente.

ORDEN DE SERVIÇO DE MANUTENÇÃO	
Planta	
Colônia	
Manutenção	PRÉ LIMPEZA - ANO 2021
Nome da Máquina	MANCAL QUEBROU ROLAMENTO TRAVOU
Horas	08:15
Custo	66,00
Materiais Utilizados	MANCAL 7207 - UN
Data do Dia	10/08/21
Horas do Dia	13:00

Figura 9 – Ordem de serviço de manutenção
Fonte: Gomes e Huebra (2021).

Com todo o histórico de gastos com peças, equipamentos, componentes, foram possíveis recolher todos os valores que foram gastos durante a safra com o plano de manutenção implantado. Os valores gastos na safra antes do plano foram recolhidos através das informações passadas pelos proprietários, com o que foi destinado os custos, assim, feito um estudo do mercado para saber o preço dos componentes na época em que foram realizadas as manutenções.

Esses valores foram repassados para um gráfico, onde uma comparação dos gastos em cada safra pôde ser feita. O estudo no mercado foi feito de maneira minuciosa, e os valores preenchidos são os valores idênticos ao que foi gasto nas manutenções.

Na Fazenda Custodio Pires, não houve parada durante a colheita de 2021. Porém, na safra de 2020 ocorreram paradas, como foi visto no Gráfico 2, assim foram pegos os dados com valores do que foi comprado para solucionar os problemas das máquinas (Figura 10).

Foi feito um estudo com os valores de mercado no período em questão, e levado em conta esses valores. O eixo y representa os valores em reais do que foi gasto nas máquinas com compras de equipamentos, peças e outros.

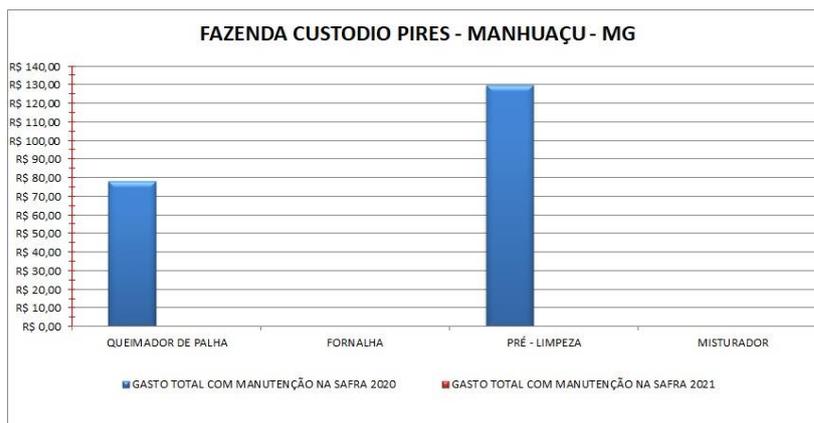


Figura 10 – Custo total em manutenção antes do plano e com o plano
Fonte: Gomes e Huebra (2021).

Na Figura 11, é possível observar o valor total com os gastos obtidos através das manutenções com compras de equipamentos, peças e outros, no período cafeeiro antes do plano de manutenção e no período cafeeiro em que o plano de manutenção foi implementado na Fazenda Bulinga. Nesse caso, ocorreu uma parada durante a safra 2021, sendo possível observar uma comparação de valores de uma das máquinas com e sem o plano.

Foi feito um estudo com os valores de mercado no período em questão, e levado em conta esses mesmos valores. O eixo y representa os valores em reais do que foi gasto nas máquinas com compras de equipamentos, peças e outros.

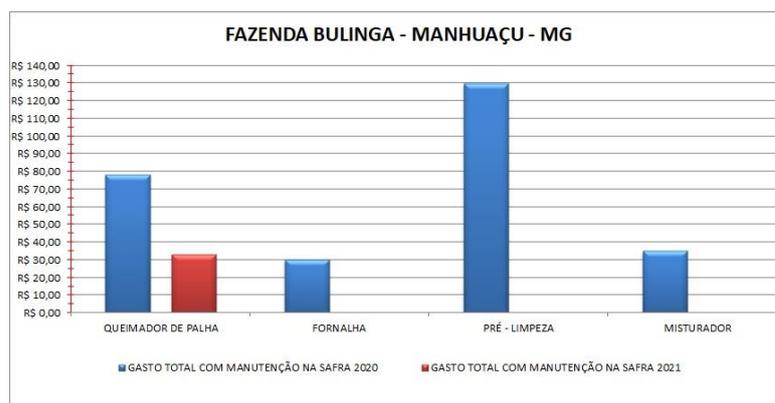


Figura 11 – Custo total em manutenção antes do plano e com o plano
Fonte: Gomes e Huebra (2021).

Na Fazenda Assis Brasil, onde ocorreu um número exorbitante de paradas em 2020, a comparação com a safra de 2021 ficou ainda mais nítida quando colocado os valores. A figura 12 apresenta a diferença enorme de valores entre as

duas safras, dando uma diferença de aproximadamente R\$ 480,00 em gastos apenas com peças, entre os anos de 2020 e 2021. Foram levados em conta os valores de mercado no período em questão, e levado em conta esses mesmos valores. O eixo y representa os valores em reais do que foi gasto nas máquinas com compras de equipamentos, peças e outros.



Figura 12 – Custo total em manutenção antes do plano e com o plano
Fonte: Gomes e Huebra (2021).

As figuras com o custo total estão ligados diretamente com a ordem de serviço introduzida na produção. Com os gráficos trazendo o custo total que o produtor teve com cada equipamento durante as duas safras, é possível notar a diferença significativa de valores, antes de ter um plano estabelecido e só trabalhar na maneira de revisar somente quando estraga, e depois a diferença que trás quando foi colocado em prática o plano de manutenção traçado para ser realizado durante a safra.

Com esses dados, foi viável realizar um estudo de comparação de valores médios com manutenções em cada um dos maquinários objeto de estudo. Foram levantados os valores que eram gastos na safra em 2020 de qualquer maneira sem ser realizadas cotações sobre os componentes necessários para a manutenção, sendo esses comprados na praça com urgência, e os valores gastos na safra 2021 com o plano de manutenção, onde foram realizadas cotações para saber o melhor custo benefício do componente, uma vez que com as revisões em intervalos definidos, ficou mais fácil de observar a vida útil dos equipamentos, assim, podendo antecipar a compra do mesmo, evitando gastos inesperados. A figura 13 apresenta os gastos médios com cada maquinário que foi objeto de estudo nesse trabalho. Essa média foi feita juntando os custos das três fazendas em cada uma das

máquinas, da mesma forma que os outros, comparando a safra de 2020 com a safra de 2021. No eixo y, estão os valores em reais do que foi gasto.

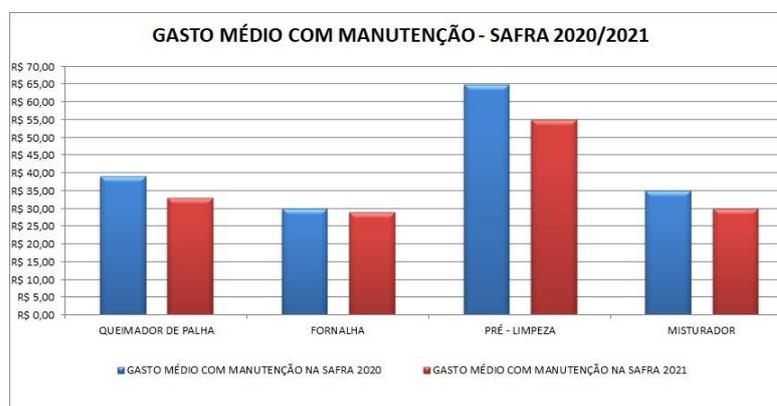


Figura 13 – Custo médio com manutenção em cada máquina na safra 2020 e na safra 2021
Fonte: Gomes e Huebra (2021).

Em simples cotações feitas com novos fornecedores no mercado, foi possível obter um preço melhor dos componentes de cada maquinário. No queimador de palha, a diferença média do preço das peças foi de R\$ 35,00. Os componentes da fornalha praticamente mantiveram o mesmo preço nas duas safras, diferença média de apenas R\$ 1,00. A pré-limpeza, máquina com o maior gasto nas fazendas, depois do levantamento do mercado feito, teve uma diferença média de R\$ 10,00 nas peças de reposição. O misturador teve uma diferença média no preço das peças de R\$ 5,00. Esses valores obtidos, demonstraram que valeu a pena buscar novos fornecedores no mercado, e que conseguir antecipar o problema também foi algo positivo no processo.

Ao observar a discrepância entre valores gastos nos equipamentos antes de um estudo necessário e depois do mesmo, os produtores chegaram à conclusão da necessidade de realizar uma cotação em cima do componente necessário para realizar a manutenção da máquina sempre que estiver próximo de aparecer uma falha, reduzindo assim gastos desnecessários que no final da safra, fazem enorme diferença no lucro obtido com a colheita de café.

Pelo meio das práticas realizadas no decorrer do desenvolvimento do trabalho e da experiência prática durante as visitas nas fazendas, foi plausível compreender a importância e a cautela que devem ser dadas à lubrificação das máquinas de beneficiamento de café, como também a necessidade de ter uma boa gestão e controle da lubrificação e revisão, para viabilizar uma maior confiabilidade no

equipamento e nos processos, bem como reduzir os custos com manutenção e gerar uma estabilidade operacional, através da padronização e acompanhamento das rotinas de trabalho.

Um ponto que pode ser melhorado é o fato de a ordem de serviço ser manual, e que em alguns casos, os funcionários das fazendas não preenchem adequadamente, gerando retrabalho na coleta de informações.

Por fim, custos menores podem ser conseguidos ainda mais de acordo com desempenho dos produtores ao colocarem o plano em prática. No caso apresentado, percebe-se grande redução nos gastos envolvidos com manutenção corretiva, grande redução no tempo gasto com paradas, atrasando a produção, apenas utilizando o plano em uma temporada cafeeira, trazendo uma visão positiva para manter e aprimorar o sistema futuramente, sendo esse o desafio da manutenção, buscando novas alternativas e soluções de melhoria para os processos.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho apresentou o Plano de Manutenção e Lubrificação em Máquinas de Beneficiamento de Café, no qual abordaram conceitos de manutenção de máquinas, processos na pós-colheita de café, controle e gestão da lubrificação, mostrando todos os processos e metodologia do desenvolvimento, para que possa servir também como base para possíveis futuros trabalhos relacionados a esse tema.

Teve como objetivo criar uma estrutura com um planejamento e controle da manutenção no qual se adequasse o melhor possível nas fazendas estudadas, bem como dar início a implementação do plano através da metodologia desenvolvida, assim, os objetivos pretendidos foram alcançados.

Pelo apresentado, percebeu-se que o plano de lubrificação e manutenção trouxe oportunidade de melhorias em eventuais problemas mecânicos, além de melhorar consideravelmente o controle e gestão na lubrificação das máquinas.

Espera-se que o plano seja mantido nas fazendas e acompanhado periodicamente pelos responsáveis, onde irá evitar o trabalho desnecessário, complementar as informações necessárias sobre as máquinas, aumentando o controle do

desempenho do setor, assim, irá estimular e motivar o senso de responsabilidade dos colaboradores, impactando diretamente na produção do café.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas: **NBR 5462/1994 – Confiabilidade e Manutenibilidade**. Rio de Janeiro: Copyright, 1994. 37p.

ALMEIDA, M. T. **Manutenção Preditiva: Confiabilidade e Qualidade**. 2000. Disponível em: <http://www.mtarv.com.br/download/mnt1.pdf>. Acesso em 05 set. 2021.

BRANCO FILHO, Gil. **Indicadores e Índices de Manutenção**. Rio de Janeiro: Ciência moderna Ltda. 2006.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Café**, Brasília, DF, v. 8, safra 2021, n. 1, primeiro levantamento, jan. 2021.

CORDEIRO, Jose Carlos; ASSUMPÇÃO, Maria Rita Pontes. **Manutenção corretiva: Um procedimento para estabelecimento de indicadores para gestão de ações na área de manutenção e operações**. Santa Bárbara do Oeste, v. 14, p. 173-182, 24 mar. 2016. Acesso em: 20 set. 2020

DIAS, Marilza do Carmo Oliveira. et al. **Manual de impactos ambientais: orientações básicas sobre aspectos ambientais de atividades produtivas**. Fortaleza: Banco do Nordeste, 1999. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/sqa_pnla/_arquivos/manual_bnb.pdf>. Acesso em: 16 set. 2021.

EMATER: MESQUITA, Carlos Magno de et al. **Manual do café: colheita e preparo (Coffea arábica L.)**. Belo Horizonte: EMATER-MG, 2016. 52 p. il.

FRANCO, L.F.N. **Manutenção preventiva e corretiva**. Disponível em: <<http://www.administradores.com.br>> Acesso em: 10 set. 2021.

KARDEC, Alan; NASCIF, Júlio. **Manutenção: Função estratégica**. 3. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009. 384 p.

MANSANO, Henrique de Mesquita. **Análise de métodos e práticas de parada programada de manutenção**. Estudo de caso em planta industrial. 2015. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, 2015.

MONCHY, François. **A Função Manutenção: Formação para a gerência da Manutenção Industrial**. 1.ed. São Paulo: Ed. Durban, 1987. 424 p.

NASCIF, Julio X. **Manutenção – Tipos e Tendência**. Disponível em: <<http://www.tecem.com.br/site/downloads/artigos/tendencia>> Acesso em: 17 set. 2021.

SOARES, Bruno Nascimento. **Análise dos aspectos positivos da manutenção preventiva em relação à manutenção corretiva: menores custos e maior disponibilidade**. 2019. Escola de Aperfeiçoamento de Oficiais, 2019. Acesso em: 19 maio 2021.

TELES, Jhonata. **Como fazer um plano de lubrificação**. 2018. Disponível em: <<https://engeteles.com.br/plano-de-lubrificacao/>>. Acesso em 06 out. 2021.

XENOS, H. G. **Gerenciando a Manutenção Preventiva: o caminho para eliminar falhas nos equipamentos e aumentar a produtividade**. Belo Horizonte. Editora de Desenvolvimento Gerencial, 1998. 302 p. ISBN 85-86948-04-7

ANEXO A

FICHA DE INSPEÇÃO
MÁQUINA: QUEIMADOR DE PALHA
LOCAL: FAZENDA ASSIS BRASIL (4), FAZENDA * (1);**
PERÍODO: 12 MESES
ANO: 2020/2021

MÁQUINA	ITENS	QUANT.	DATA	ATIVIDADES REALIZADAS	INTERVALO DE CONFERÊNCIA
QUEIMADOR DE PALHA	FIXADORES	14	01/11/2020	CONFERÊNCIA DO APERTO	PERIODO DA SAFRA TODA
FORNALHA	FIXADORES	22	01/11/2020	CONFERÊNCIA DO APERTO	PERIODO DA SAFRA TODA
PRÉ - LIMPEZA	FIXADORES	95	01/11/2020	CONFERÊNCIA DO APERTO	PERIODO DA SAFRA TODA
MISTURADOR	FIXADORES	20	01/11/2020	CONFERÊNCIA DO APERTO	PERIODO DA SAFRA TODA

Anexo A: Plano de lubrificação elaborado para queimador de palha

Fonte: Gomes e Huebra (2021).

ANEXO B

FICHA DE INSPEÇÃO

MÁQUINA: FORNALHA

LOCAL: FAZENDA ASSIS BRASIL (4), FAZENDA *** (1);

PERÍODO: 12 MESES

ANO: 2020/2021

ITENS.	QUANT.	DATA	ATIVIDADES REALIZADAS.	INTERVALO DE MAN E LUBRI.	PRÓXIMA LUBRI.
MANCAL P205	2	01/11/2020	LIMPEZA E LUBRIFICAÇÃO	150 DIAS EM PERÍODO ENTRE SAFRA	01/04/2021
ROLAMENTO UC2(	2	01/11/2020	LIMPEZA E LUBRIFICAÇÃO	150 DIAS EM PERÍODO ENTRE SAFRA	01/04/2021
CORREIA B079	1	01/11/2020	ANALISE DA VIDA UTIL E LIMPEZA	150 DIAS EM PERÍODO ENTRE SAFRA	01/04/2021
MANCAL P205	2	01/04/2021	LIMPEZA E LUBRIFICAÇÃO	60 DIAS EM PERÍODO DE SAFRA	01/06/2021
ROLAMENTO UC2(	2	01/04/2021	LIMPEZA E LUBRIFICAÇÃO	60 DIAS EM PERÍODO DE SAFRA	01/06/2021
CORREIA B079	1	01/04/2021	ANALISE DA VIDA UTIL E LIMPEZA	60 DIAS EM PERÍODO DE SAFRA	01/06/2021
MANCAL P205	2	01/06/2021	LIMPEZA E LUBRIFICAÇÃO	60 DIAS EM PERÍODO DE SAFRA	02/08/2021
ROLAMENTO UC2(	2	01/06/2021	LIMPEZA E LUBRIFICAÇÃO	60 DIAS EM PERÍODO DE SAFRA	02/08/2021
CORREIA B079	1	01/06/2021	ANALISE DA VIDA UTIL E LIMPEZA	60 DIAS EM PERÍODO DE SAFRA	02/08/2021
MANCAL P205	2	02/08/2021	LIMPEZA E LUBRIFICAÇÃO	60 DIAS EM PERÍODO DE SAFRA	04/10/2021
ROLAMENTO UC2(	2	02/08/2021	LIMPEZA E LUBRIFICAÇÃO	60 DIAS EM PERÍODO DE SAFRA	04/10/2021
CORREIA B079	1	02/08/2021	ANALISE DA VIDA UTIL E LIMPEZA	60 DIAS EM PERÍODO DE SAFRA	04/10/2021

Anexo B: Plano de lubrificação elaborado para fornalha

Fonte: Gomes e Huebra (2021).

ANEXO C

FICHA DE INSPEÇÃO

MÁQUINA: PRÉ LIMPEZA

LOCAL: FAZENDA ASSIS BRASIL (4), FAZENDA *** (1);

PERÍODO: 12 MESES

ANO: 2020/2021

ITENS	QUANT	DATA	ATIVIDADES REALIZADAS	INTERVALO DE MANU E LUBRI	PRÓ LUB
MANCAL P207	4	01/11/2020	LIMPEZA E LUBRIFICAÇÃO	150 DIAS EM PERIODO ENTRE SAFRA	01/04/2021
MANCAL HC210	1	01/11/2020	LIMPEZA E LUBRIFICAÇÃO	150 DIAS EM PERIODO ENTRE SAFRA	01/04/2021
POLIA 080 3C	1	01/11/2020	LIMPEZA E LUBRIFICAÇÃO	150 DIAS EM PERIODO ENTRE SAFRA	01/04/2021
POLIA 100B 2C	1	01/11/2020	LIMPEZA E LUBRIFICAÇÃO	150 DIAS EM PERIODO ENTRE SAFRA	01/04/2021
POLIA 300B 1C	1	01/11/2020	LIMPEZA E LUBRIFICAÇÃO	150 DIAS EM PERIODO ENTRE SAFRA	01/04/2021
ROLAMENTO UC2C	4	01/11/2020	LIMPEZA E LUBRIFICAÇÃO	150 DIAS EM PERIODO ENTRE SAFRA	01/04/2021
CORREIA B060	2	01/11/2020	ANALISE DA VIDA UTIL E LIMPEZA	150 DIAS EM PERIODO ENTRE SAFRA	01/04/2021
CORREIA B076	1	01/11/2020	ANALISE DA VIDA UTIL E LIMPEZA	150 DIAS EM PERIODO ENTRE SAFRA	01/04/2021
MANCAL P207	4	01/04/2021	LIMPEZA E LUBRIFICAÇÃO	60 DIAS EM PERIODO DE SAFRA	01/06/2021
MANCAL HC210	1	01/04/2021	LIMPEZA E LUBRIFICAÇÃO	60 DIAS EM PERIODO DE SAFRA	01/06/2021
POLIA 080 3C	1	01/04/2021	LIMPEZA E LUBRIFICAÇÃO	60 DIAS EM PERIODO DE SAFRA	01/06/2021
POLIA 100B 2C	1	01/04/2021	LIMPEZA E LUBRIFICAÇÃO	60 DIAS EM PERIODO DE SAFRA	01/06/2021
POLIA 300B 1C	1	01/04/2021	LIMPEZA E LUBRIFICAÇÃO	60 DIAS EM PERIODO DE SAFRA	01/06/2021
ROLAMENTO UC2C	4	01/04/2021	LIMPEZA E LUBRIFICAÇÃO	60 DIAS EM PERIODO DE SAFRA	01/06/2021
CORREIA B060	2	01/04/2021	ANALISE DA VIDA UTIL E LIMPEZA	60 DIAS EM PERIODO DE SAFRA	01/06/2021
CORREIA B076	1	01/04/2021	ANALISE DA VIDA UTIL E LIMPEZA	60 DIAS EM PERIODO DE SAFRA	01/06/2021
MANCAL P207	4	01/06/2021	LIMPEZA E LUBRIFICAÇÃO	60 DIAS EM PERIODO DE SAFRA	02/08/2021
MANCAL HC210	1	01/06/2021	LIMPEZA E LUBRIFICAÇÃO	60 DIAS EM PERIODO DE SAFRA	02/08/2021
POLIA 080 3C	1	01/06/2021	LIMPEZA E LUBRIFICAÇÃO	60 DIAS EM PERIODO DE SAFRA	02/08/2021
POLIA 100B 2C	1	01/06/2021	LIMPEZA E LUBRIFICAÇÃO	60 DIAS EM PERIODO DE SAFRA	02/08/2021
POLIA 300B 1C	1	01/06/2021	LIMPEZA E LUBRIFICAÇÃO	60 DIAS EM PERIODO DE SAFRA	02/08/2021
ROLAMENTO UC2C	4	01/06/2021	LIMPEZA E LUBRIFICAÇÃO	60 DIAS EM PERIODO DE SAFRA	02/08/2021
CORREIA B060	2	01/06/2021	ANALISE DA VIDA UTIL E LIMPEZA	60 DIAS EM PERIODO DE SAFRA	02/08/2021
CORREIA B076	1	01/06/2021	ANALISE DA VIDA UTIL E LIMPEZA	60 DIAS EM PERIODO DE SAFRA	02/08/2021
MANCAL P207	4	02/08/2021	LIMPEZA E LUBRIFICAÇÃO	60 DIAS EM PERIODO DE SAFRA	04/10/2021
MANCAL HC210	1	02/08/2021	LIMPEZA E LUBRIFICAÇÃO	60 DIAS EM PERIODO DE SAFRA	04/10/2021
POLIA 080 3C	1	02/08/2021	LIMPEZA E LUBRIFICAÇÃO	60 DIAS EM PERIODO DE SAFRA	04/10/2021
POLIA 100B 2C	1	02/08/2021	LIMPEZA E LUBRIFICAÇÃO	60 DIAS EM PERIODO DE SAFRA	04/10/2021
POLIA 300B 1C	1	02/08/2021	LIMPEZA E LUBRIFICAÇÃO	60 DIAS EM PERIODO DE SAFRA	04/10/2021
ROLAMENTO UC2C	4	02/08/2021	LIMPEZA E LUBRIFICAÇÃO	60 DIAS EM PERIODO DE SAFRA	04/10/2021
CORREIA B060	2	02/08/2021	ANALISE DA VIDA UTIL E LIMPEZA	60 DIAS EM PERIODO DE SAFRA	04/10/2021
CORREIA B076	1	02/08/2021	ANALISE DA VIDA UTIL E LIMPEZA	60 DIAS EM PERIODO DE SAFRA	04/10/2021

Anexo C: Plano de lubrificação elaborado para pré-limpeza

Fonte: Gomes e Huebra (2021).

ANEXO D

FICHA DE INSPEÇÃO
MÁQUINA: MISTURADOR
LOCAL: FAZENDA ASSIS BRASIL (4), FAZENDA * (1);**
PERÍODO: 12 MESES
ANO: 2020/2021

ITENS.	QUANT.	DATA.	ATIVIDADES REALIZADAS.	INTERVALO DE MAN E LUBRI.	PROXIMA LUBRI.
MANCAL P205	4	01/11/2020	LIMPEZA E LUBRIFICAÇÃO	150 DIAS EM PERIODO ENTRE SAFRA	01/04/2021
ROLAMENTO UC20:	1	01/11/2020	LIMPEZA E LUBRIFICAÇÃO	150 DIAS EM PERIODO ENTRE SAFRA	01/04/2021
POLIA 090B 1C	2	01/11/2020	LIMPEZA E LUBRIFICAÇÃO	150 DIAS EM PERIODO ENTRE SAFRA	01/04/2021
POLIA 350B 1C	1	01/11/2020	LIMPEZA E LUBRIFICAÇÃO	150 DIAS EM PERIODO ENTRE SAFRA	01/04/2021
CORREIA B051	1	01/11/2020	NALISE DA VIDA UTIL E LIMPEZ	150 DIAS EM PERIODO ENTRE SAFRA	01/04/2021
CORREIA B054	1	01/11/2020	NALISE DA VIDA UTIL E LIMPEZ	150 DIAS EM PERIODO ENTRE SAFRA	01/04/2021
ROLDANA 2"	6	01/11/2020	NALISE DA VIDA UTIL E LIMPEZ	150 DIAS EM PERIODO ENTRE SAFRA	01/04/2021
MANCAL P205	4	01/04/2021	LIMPEZA E LUBRIFICAÇÃO	60 DIAS EM PERIODO DE SAFRA	01/06/2021
ROLAMENTO UC20:	1	01/04/2021	LIMPEZA E LUBRIFICAÇÃO	60 DIAS EM PERIODO DE SAFRA	01/06/2021
POLIA 090B 1C	2	01/04/2021	LIMPEZA E LUBRIFICAÇÃO	60 DIAS EM PERIODO DE SAFRA	01/06/2021
POLIA 350B 1C	1	01/04/2021	LIMPEZA E LUBRIFICAÇÃO	60 DIAS EM PERIODO DE SAFRA	01/06/2021
CORREIA B051	1	01/04/2021	NALISE DA VIDA UTIL E LIMPEZ	60 DIAS EM PERIODO DE SAFRA	01/06/2021
CORREIA B054	1	01/04/2021	NALISE DA VIDA UTIL E LIMPEZ	60 DIAS EM PERIODO DE SAFRA	01/06/2021
ROLDANA 2"	6	01/04/2021	NALISE DA VIDA UTIL E LIMPEZ	60 DIAS EM PERIODO DE SAFRA	01/06/2021
MANCAL P205	4	01/06/2021	LIMPEZA E LUBRIFICAÇÃO	60 DIAS EM PERIODO DE SAFRA	02/08/2021
ROLAMENTO UC20:	1	01/06/2021	LIMPEZA E LUBRIFICAÇÃO	60 DIAS EM PERIODO DE SAFRA	02/08/2021
POLIA 090B 1C	2	01/06/2021	LIMPEZA E LUBRIFICAÇÃO	60 DIAS EM PERIODO DE SAFRA	02/08/2021
POLIA 350B 1C	1	01/06/2021	LIMPEZA E LUBRIFICAÇÃO	60 DIAS EM PERIODO DE SAFRA	02/08/2021
CORREIA B051	1	01/06/2021	NALISE DA VIDA UTIL E LIMPEZ	60 DIAS EM PERIODO DE SAFRA	02/08/2021
CORREIA B054	1	01/06/2021	NALISE DA VIDA UTIL E LIMPEZ	60 DIAS EM PERIODO DE SAFRA	02/08/2021
ROLDANA 2"	6	01/06/2021	NALISE DA VIDA UTIL E LIMPEZ	60 DIAS EM PERIODO DE SAFRA	02/08/2021
MANCAL P205	4	02/08/2021	LIMPEZA E LUBRIFICAÇÃO	60 DIAS EM PERIODO DE SAFRA	04/10/2021
ROLAMENTO UC20:	1	02/08/2021	LIMPEZA E LUBRIFICAÇÃO	60 DIAS EM PERIODO DE SAFRA	04/10/2021
POLIA 090B 1C	2	02/08/2021	LIMPEZA E LUBRIFICAÇÃO	60 DIAS EM PERIODO DE SAFRA	04/10/2021
POLIA 350B 1C	1	02/08/2021	LIMPEZA E LUBRIFICAÇÃO	60 DIAS EM PERIODO DE SAFRA	04/10/2021
CORREIA B051	1	02/08/2021	NALISE DA VIDA UTIL E LIMPEZ	60 DIAS EM PERIODO DE SAFRA	04/10/2021
CORREIA B054	1	02/08/2021	NALISE DA VIDA UTIL E LIMPEZ	60 DIAS EM PERIODO DE SAFRA	04/10/2021
ROLDANA 2"	6	02/08/2021	NALISE DA VIDA UTIL E LIMPEZ	60 DIAS EM PERIODO DE SAFRA	04/10/2021

Anexo D - Plano de lubrificação elaborado para misturador.

Fonte: Gomes e Huebra (2021).

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE GATILHOS DE INICIAÇÃO PARA ABSORÇÃO DE ENERGIA EM *CRASH BOX*

Acadêmicos: Guilherme Ferreira Martins e Iury Lopes Balbino

Orientador: Rieder de Oliveira Neto

Resumo

Neste trabalho de dissertação, fez-se uma pesquisa quanto a mudança no comportamento de *crash box* quanto a absorção de energia e deformação. As análises foram realizadas a partir de simulações utilizando o software Ansys Workbench R1 2021. Foram adicionadas as *crash boxes* diferentes entalhes em diferentes tipos e posições como gatilhos de iniciação com a intenção de se avaliar a influência destes no comportamento e nos resultados dos modelos, para se estudar a quantidade de energia repassada ao restante da carroceria e conseqüentemente aos ocupantes do veículo. Todas as simulações indicaram mudanças significativas se comparadas a um modelo sem os gatilhos, mostrando que a inserção de entalhes na peça modifica a forma como está se comporta em uma colisão, no caso destas simulações, melhorando a quantidade de energia absorvida pela peça. Assim, conclui-se que a inserção de entalhes como gatilho de iniciação em *crash boxes* modifica sua performance, em muitos casos melhorando-a, e assegurando mais segurança aos ocupantes do veículo.

PALAVRAS-CHAVE: Segurança; deformação; *Crash Box*; absorção de energia.

1. INTRODUÇÃO

O automóvel se tornou um item que facilitou a vida das pessoas por possibilitar alcançar grandes distâncias em tempos curtos, além de possibilitar transportar cargas pesadas que antes necessitavam de métodos mais complexos e demorados, como carroças, por exemplo. Segundo Naccari (2018) o uso do automóvel permitiu as pessoas se deslocarem com mais agilidade e comodidade. Se hoje estes fatores são fundamentais, na época da criação do carro foi algo inovador.

Com o passar dos anos o número de automóveis nas ruas aumentou exponencialmente e, conseqüentemente, o número de acidentes. “Em uma colisão, o corpo humano pode aumentar de peso, devido a inércia e gravidade, o fígado que tem um peso médio de 1,700 kg, a 100 km/h terá o peso de 47 kg” (RODRIGUES, 2020), o que pode causar ruptura, arrancamento, deslocamento, entre outros. Como consequência do aumento de acidentes foi necessário melhorar a segurança dos

veículos e acrescentar itens que contribuíssem para salvar as vidas dos ocupantes no caso de uma colisão.

Algumas pessoas costumam dizer que os carros de antigamente eram melhores que os carros modernos por estragarem menos em uma batida. Isso se devia ao fato de usarem mais aço na construção da carcaça. Já o fato de os carros modernos amassarem mais em uma colisão é o que os tornam mais seguros. De acordo com Gago (2017), se antes a proposta era a utilização de aço bruto, em tempos mais recentes, a tecnologia incorpora materiais como borracha, alumínio e os plásticos como aditivos garantindo a resistência, redução de peso e menor impacto ambiental.

Quando se pensa em adquirir um automóvel muitos aspectos são levados em conta: estética, conforto, potência, consumo, preço e segurança. Segundo Ruthes (2014, p 32), “a preocupação com mortes no trânsito teve início em meados do século XX, o que levou os governos a estudarem as características dos acidentes e as medidas para diminuir as consequências”.

Um dos dispositivos utilizados para absorver o impacto é a *crash box* (absorvedor de impacto) que se caracteriza por um tubo metálico, normalmente na forma retangular. Tem em sua superfície áreas de baixo relevo para facilitar a deformação, absorvendo o impacto gerado na colisão, causando uma deformação programada e reduzindo a força de impacto para os ocupantes do veículo.

O presente trabalho compara diferentes geometrias para a *crash box* através de simulações no *software Ansys Workbench Student 2021 R1* quanto a influência na absorção de energia devido ao uso de gatilhos estruturais para o início da deformação, cujo objetivo é de mostrar a mudança do impacto repassado ao restante da carroceria e, conseqüentemente, aos passageiros.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. ABSORÇÃO DE ENERGIA

De acordo com Santos (2018, p 24), a *crash box* é um absorvedor de energia, geralmente inserido na parte frontal do veículo onde estão localizadas uma em cada extremidade das longarinas, como pode ser notado na Figura 1, e sua função é

absorver o máximo da energia de impacto de forma controlada e local minimizando a energia dissipada para a estrutura do veículo. É considerado uma peça de sacrifício, pois tem a função de se deformar evitando que as demais peças estruturais como longarinas e o monobloco se deformem.



Figura 1 – Crash box – flexas pretas (absorvedores de impacto).
Fonte: Auto Esporte (2019)

Por ser um item relativamente novo não é encontrado em todos os veículos. Por essa razão, não é possível instalá-los em carros que não os possuam por ser um componente pensado no momento do projeto quando todos os cálculos são realizados. Isso, pensando no funcionamento combinado entre o absorvedor e a estrutura.

2.2. IMPACTO SOBRE O CORPO HUMANO

Durante a condução de um veículo acidentes de trânsito podem acontecer de diferentes formas: colisões frontais, laterais, transversais e capotamentos podendo causar lesões aos ocupantes. De acordo com Da Costa (2020, p 20), essas lesões podem ser causadas por intrusão no habitáculo, desaceleração instantânea, ejeção do veículo e impacto com componentes internos do automóvel.

De acordo com o DETRANPR 2021 (Departamento de Trânsito do Paraná): “Para um carro numa batida a 65 Km/h os passageiros sofrem um impacto equivalente a 820 Kg; Mais de 30 mil pessoas morrem no trânsito todos os anos. São mais de 80 pessoas por dia ou 1 a cada 18 min; se a velocidade for de 80 Km/h o impacto equivale ao de uma queda livre de 25 metros; uma pessoa adulta só

consegue suportar um peso que seja, no máximo, 3 vezes superior ao seu próprio peso".

2.3. INFLUÊNCIA DO IMPACTO NO AUTOMÓVEL

A rigidez estrutural é um dos fatores na construção de um automóvel, pois garante sua estabilidade durante o funcionamento. Desde o início da construção dos carros a estrutura utilizada era o sistema de chassi. O chassi é uma estrutura rígida que é responsável por suportar os componentes do veículo como motor, suspensão e carroceria.

Com o avanço da tecnologia outros sistemas para construção de veículos surgiram. Um destes conceitos é o monobloco que, segundo Rosa (2012, p 25), consiste numa estrutura na qual os próprios elementos da carroceria como assoalho, teto e portas exercem a função estrutural (resistência e sustentação). Desde sua criação o monobloco vem ganhando espaço no mercado automotivo e, hoje, é predominante em carros modernos de passeios sendo encontrada em alguns carros *off-Road*. Dentre suas principais vantagens ao chassi pode-se destacar maior facilidade em produzir em grandes quantidades, maior versatilidade para fabricar modelos variados na mesma linha de montagem, simplifica a manufatura e reduz custos de produção, mais fácil de se adequar as normas de segurança veicular e a padronização do controle de qualidade (GUERRA, 2018).

Como mencionado anteriormente, o objetivo do *crash box* é, em caso de pequenas colisões, deformar-se evitando que o impacto se propague aos demais componentes estruturais. Segundo a revista Quatro Rodas (2017), caso haja uma colisão em que a *crash box* seja danificada e não ocorra a substituição da mesma, um segundo impacto pode danificar peças estruturais importantes, como a longarina.

2.4. MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS

Uma simulação pelo Método dos Elementos Finitos (MEF) consiste na discretização da geometria do corpo analisado em elementos finitos. Dessa maneira, cada elemento finito representa uma porção discreta do corpo (LOPES, 2016). A partir deste conceito, é criada uma malha que divide a geometria em pequenas porções, como mostra a Figura 2. Cada porção contém uma quantidade de nós e o

conjunto destes nós formam os elementos que possuem nos compartilhados com outros. Os elementos podem ser de geometrias variadas, como quadrados e triângulos, e podem ser usados com uma única geometria ou combinados.

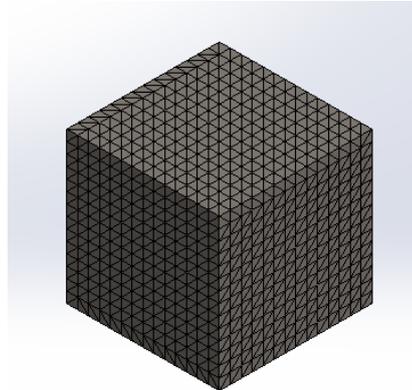


Figura 2: Exemplo de malha aplicada em um cubo no Solid Works 2018
Fonte: Balbino e Martins (2021).

É a partir da criação da malha que o programa realiza equações diferenciais parciais para cada um dos nós (vértices da malha) e, assim, pode fornecer informações de deformação, tensão, análise de superfície, escoamento de fluidos e deformações térmicas. O resultado da análise depende do refinamento da malha, pois quanto maior este refino mais precisos serão os resultados, porém, o custo operacional e o tempo de processamento também ficam maiores. No entanto, ter um bom conhecimento das ferramentas oferecidas pelo *software* são importantes para que se obtenha o melhor custo e benefício para o projeto.

Para o presente trabalho foi utilizado o *software Ansys Workbench 2021 R1* para que sejam realizadas as análises nos diferentes modelos de *crash box*. O *Ansys Workbench* possui recursos avançados e importantes para estas análises, com a programação correta pode fornecer dados essencialmente próximos a realidade.

3. METODOLOGIA

3.1. CRIAÇÃO DOS MODELOS DE TESTE

Para o desenvolvimento deste trabalho foi utilizado o *software Solidworks 2018*. Para a elaboração da metodologia foi utilizado como base o trabalho de

DiPaolo e Tom (2006). Foram criados modelos de crash box com as dimensões de 50 mm x 50 mm x 120 mm, com espessura de 1,5 mm, cada uma com um gatilho de iniciação diferente. Foi utilizado o aço 1010 por ser um aço de baixo carbono. Segundo a Açoplano (2019), este tipo de aço é muito utilizado na indústria automobilística por possuir características de boa maleabilidade, usinabilidade e baixo custo de produção.

Primeiramente foi criado uma *crash box* sem nenhum gatilho para base de comparação, como mostra a Figura 3.



Figura 3 – Crash box sem gatilho
Fonte: Balbino e Martins (2021).

A seguir, como está representado na Figura 4, foram criados 3 modelos. Em sequência os modelos foram importados para o software de simulação *Ansys Workbench 2021 R1* para a realização das simulações.

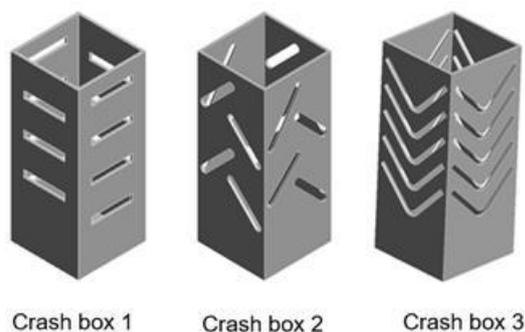


Figura 4: Modelos de crash box com gatilhos
Fonte: Balbino e Martins (2021).

Os gatilhos são entalhes feitos na peça com a intenção de gerar uma deformação programada. São posicionados de forma estratégica na peça a fim de sofrer a primeira força de impacto, dando início a deformação e causando uma maior

absorção da energia gerada. O intuito destas simulações é comparar a quantidade de energia absorvida por cada *crash box* e compará-los a um modelo sem nenhum gatilho de iniciação.

3.2. ANÁLISE DA ESTRUTURA PELO MEF

Para as simulações foi utilizado o método de análise estática atribuído as configurações correções dinâmicas. Foi aplicada a cada uma das amostras forças equivalentes em uma situação de colisão frontal. Foi considerado um fator dinâmico multiplicado pela carga estática a fim de se aproximar o estudo a situações dinâmicas.

$$\text{Carga dinâmica} = \text{carga estática} \times \text{fator dinâmico}$$

Em um veículo moderno existem várias formas de se evitar acidentes e diminuir os danos causados por eles, como: *air bags*, sistema de freio ABS, controle de estabilidade, controle de faixa, entre outros. Estes sistemas e equipamentos podem salvar vidas e diminuir os danos ao veículo, mas neste estudo foram analisados apenas a influência da *crash box*.

Foram analisados parâmetros de tensão, deformação total do corpo de prova e tenacidade. Considerando que a estrutura do veículo foi bem projetada e não possui pontos de fadiga causados por falhas de projeto, ou reparos mal executados por colisões anteriores, os resultados das análises tendem se ser condizentes com a realidade.

3.3. DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS

A partir das informações dos modelos de prova e da definição de carga a ser utilizada é necessário definir os parâmetros a serem analisados e como realizar estas análises. Os valores de tensão e deformação podem ser obtidos através da lei de Hooke, representado pela formula 1.

$$\sigma = \epsilon \cdot E \tag{Eq. (1)}$$

Em que “ σ ” = tensão limite de escoamento; “ ϵ ” = deformação; “E” = módulo de Young. A tensão é encontrada através da formula 2:

$$\sigma = F/a \tag{Eq. (2)}$$

Em que F= força (N ou Kgf); e a= área (m² ou mm²). A deformação ϵ é medida em metros (m) ou milímetros (mm). Neste caso será utilizado: Newton (N) para força; Milímetro quadrado (mm²) para área; Milímetro (mm) para deformação.

A tenacidade, segundo Gomes (2020), é a habilidade que um metal possui para deformar-se plasticamente e absorver energia antes de se fraturar; é possível realizar o cálculo da tenacidade através da determinação da área formada abaixo da linha de ruptura do gráfico tensão x deformação (Figura 5).

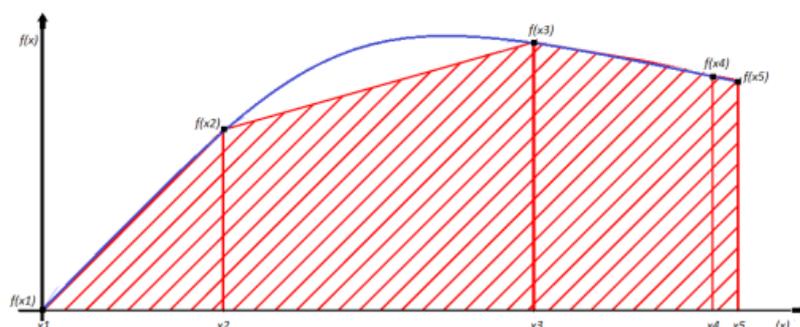


Figura 5: Gráfico tensão x deformação.
Fonte: Serighelli, Turra e José (2016)

É possível realizar o cálculo desta área através da fórmula 3, criada por Selly (1947), denominado regra do trapézio. Como dito por Serighelli, Turra e José (2016), consiste na aproximação da integral de uma curva pelas áreas de trapézios descritos determinados por retas f(x1) até f(x2) em um passo 'x1' até 'x2', f(x2) até f(x3) em um passo 'x2' até 'x3', como mostrado na figura 5.

$$Ut = \frac{(\sigma_e + \sigma_m) * \epsilon}{2} \quad \text{Eq. (3)}$$

Onde Ut = área abaixo da curva; σ_e = tensão de escoamento; σ_m = tensão máxima; e ϵ = deformação específica.

A linha azul (Figura 5) corresponde a função na qual está sendo aplicada a integração e a parte hachurada abaixo corresponde as áreas dos trapézios aplicados a esta curva. Dessa forma, o resultado da integral pela regra do trapézio

$$I = \frac{h1 * f(x2) + f(x1)}{2} + \frac{h2 * f(x3) + f(x2)}{2} + \dots + \frac{hn * f(xn) + f(xn-1)}{2} \quad \text{Eq. (4)}$$

para segmentos desiguais é definido pela Equação 4.

Em que os “h” são as bases dos trapézios de cada segmento multiplicado pela altura média.

3.4. APLICAÇÃO DO MÉTODO

O MEF possibilita o uso de vários tipos de simulação. Como demonstrado na Figura 4, as análises estáticas podem ser divididas em dois grupos, como mostra a Figura 6: simulações estáticas de colisão e simulações estáticas de torção (LOPES, 2016).

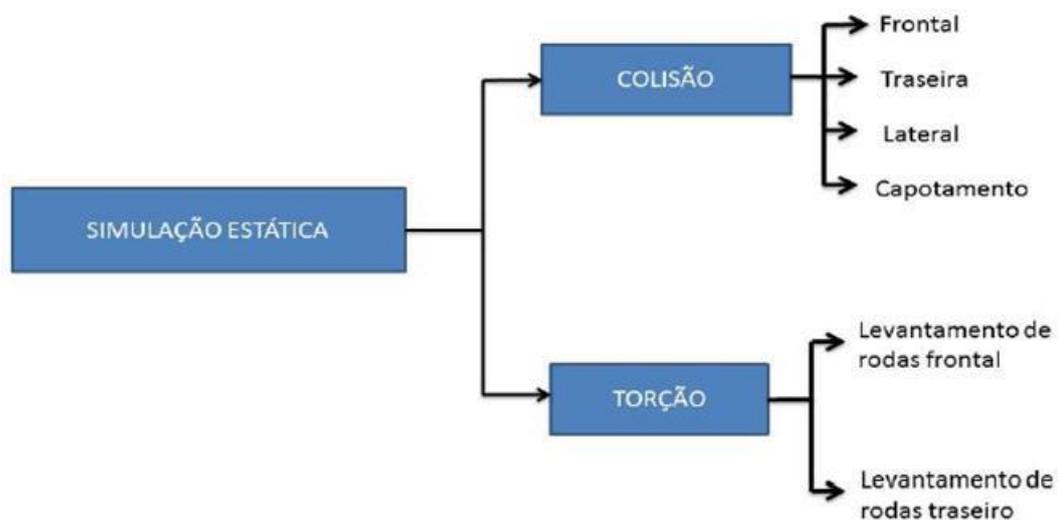


Figura 6: Divisão da simulação de análise estática em dois grupos: Colisão e torção.
Fonte: Lopes (2016)

A simulação estática visa analisar situações onde o veículo é submetido a forças atuando como impacto na carroceira. Como mostrado na figura x, é possível realizar estudos de colisão frontal, lateral, traseiro e de capotamento e, no caso de torção, levantamento das rodas dianteiras e traseiras. Nesse trabalho, apenas a colisão frontal foi estudada.

Para as simulações foi utilizada a massa total de um Toyota Corolla 2.0 GLi CVT 2022 que, segundo o site de venda de automóveis icarros, é de 1.375 kg e para o condutor a massa de 90 kg, totalizando 1.465 kg.

3.5. COLISÃO FRONTAL

A colisão frontal acontece quando um veículo em movimento atinge um objeto fixo ou em movimento com a parte frontal do veículo sendo a primeira a receber o impacto. De acordo com a lei da inércia, o corpo do ocupante é projetado para frente podendo ocorrer lesões graves caso não seja usado o cinto de segurança, dependendo também, da velocidade do impacto, logicamente, em velocidades maiores os danos serão mais graves.

De acordo com Prasad *et al.* (2013), pesquisas apontam que o corpo do ocupante será projetado para fora do veículo quando agirem forças maiores que 9 vezes a aceleração da gravidade (9g) em que a gravidade tem o valor de 9,81 m/s². Também será utilizado o valor de 10g para aceleração da gravidade.

Para a definição da força de impacto simulada foi utilizado a fórmula 5 a qual representa o princípio fundamental da dinâmica, a segunda Lei de Newton.

$$F = m \times a$$

$$F = m \times 10g$$

$$F = 1.465 \times (10 \times 9,81)$$

$$F = 143.716,5 \text{ N} \tag{Eq. (5)}$$

A fórmula 6 demonstra a força que será aplicada em duas *crash boxes*, sendo assim, a força aplicada em cada crash box será:

$$F_{\text{crash box}} = 143,716,5 \div 2 \tag{Eq. (6)}$$

$$F_{\text{crash box}} = 71.858,25 \text{ N}$$

Parte desta energia é absorvida pelas *crash boxes* enquanto o restante será dissipado pela carroceria. Foi considerado que o veículo se desloca apenas no eixo da aplicação da força. A partir das simulações foi analisado qual dos modelos têm o comportamento mais satisfatório quanto a absorção da energia.

4. ANÁLISE DAS SIMULAÇÕES

Neste capítulo serão avaliadas as simulações com os modelos de crash box, utilizando-se do software de simulação Ansys Workbench 2021 R1 que é uma

ferramenta utilizada para diversas simulações, como estruturais, pneumáticas e hidráulicas, nas quais, quando bem aplicados os parâmetros produzem resultados condizentes com a realidade.

4.1 CRASH BOX SEM GATILHO DE INICIAÇÃO

O primeiro ensaio de deformação foi realizado em uma *crash box* sem gatilho com paredes de espessura 1,5 mm, como mostra a Figura 7, para que esta sirva como base de comparação para os demais modelos e a energia absorvida na *crash box*.

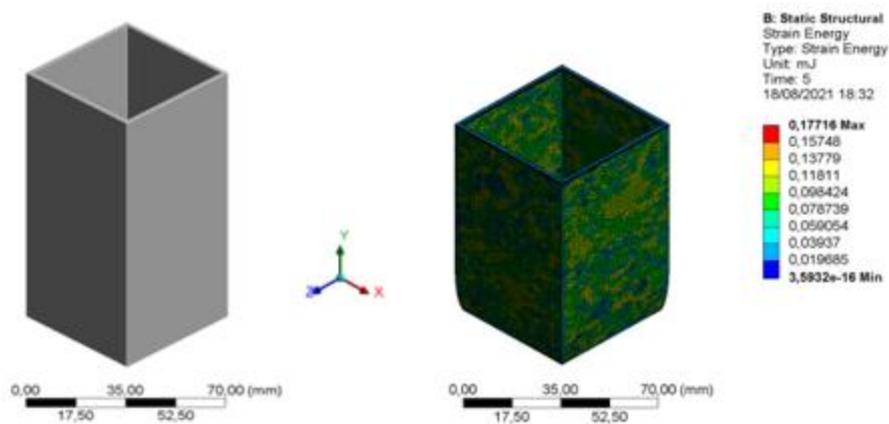


Figura 7: Crash box sem gatilho
Fonte: Balbino e Martins (2021).

Após a realização das simulações foram obtidos os valores de 0,147 mm para deformação total; 371,39 MPa para tensão total; e 0,177 MJ para energia absorvida total.

4.3 CRASH BOX 1

Na *crash box* 1, figura 8, foram realizados 4 entalhes retangulares de 30 x 5 (mm) em duas faces paralelas e 3 entalhes de 30 x 5 (mm) nas outras duas faces paralelas da *crash box*, na posição horizontal, sendo os entalhes alternados entre si na posição vertical e a absorção de energia da *crash box* 1.

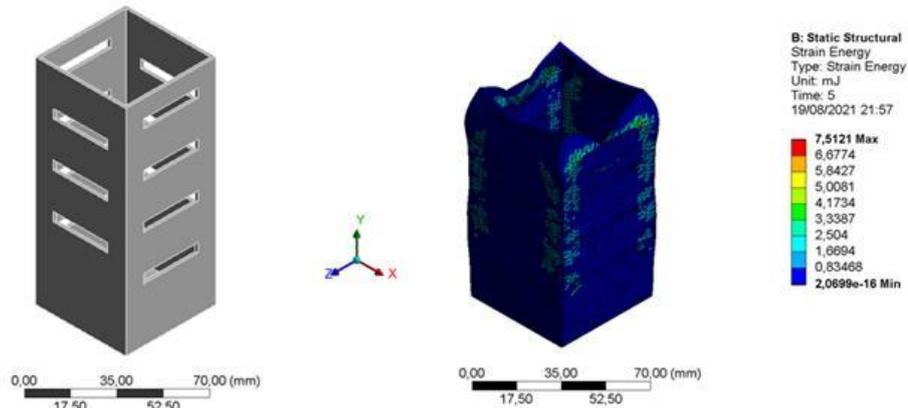


Figura 8: Crash box 1
Fonte: Balbino e Martins (2021).

Após a realização das simulações foram obtidos os valores de 0,465 mm para deformação total; 3.021,4 MPa para tensão total; e 7,512 MJ para energia absorvida total.

4.4 CRASH BOX 2

Na *crash box 2*, Figura 9, foram realizados 4 entalhes com as pontas arredondadas em ângulos de 45°, de 30 x 5 (mm) nas 4 faces da *crash box*, sendo estes alternados entre si, na mesma face e a absorção de energia da *crash box 2*.

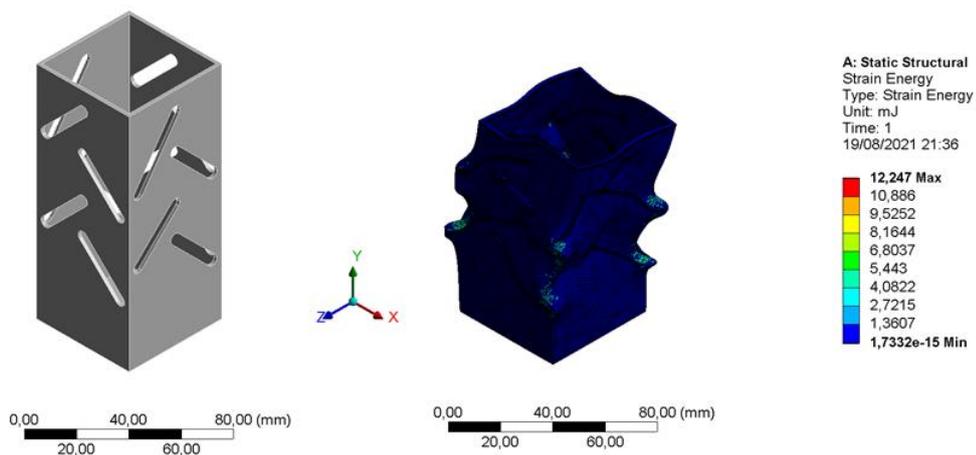


Figura 9: Crash box 2
Fonte: Balbino e Martins (2021).

Após a realização das simulações foram obtidos os valores de 0,529 mm para deformação total; 5.246,1 MPa para tensão total; e 12,247 MJ para energia absorvida total.

4.5 CRASH BOX 3

Na *crash box* 3, figura 10, foram realizados 5 entalhes em forma de flecha com 5 mm de espessura, apontadas para baixo e de forma paralelas entre si nas 4 faces da *crash box* e a absorção de energia da *crash box* 3.

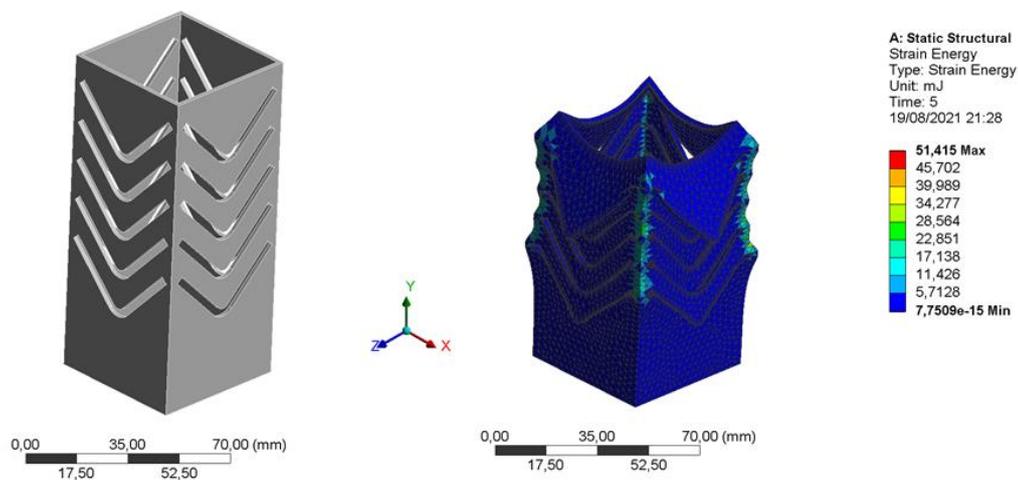


Figura 10: Crash box 3
Fonte: Balbino e Martins (2021).

Após a realização das simulações foram obtidos os valores de 1,083 mm para deformação total; 7.856,3 MPa para tensão total; e 51,415 MJ para energia absorvida total.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo é apresentado o resultado das simulações das *crash boxes* realizadas no *software* de simulação *Ansys Workbench* 2021 R1, levando em consideração os parâmetros de deformação total, tensão de deformação total e energia absorvida, sendo esse último, a principal característica a ser analisada.

Nas definições dos parâmetros de construção de malha dos modelos foram utilizadas configurações específicas como o *inflation* e o *sizing*, que proporcionam melhor detalhamento nas áreas dos gatilhos, gerando mais elementos e nós nestas áreas, que é o foco principal do estudo, conferindo ainda mais compatibilidade com a realidade.

Por se tratar de uma versão estudantil do software, este possui limitações, como número de nós e elementos, que em maior quantidade possibilitam simulações mais precisas ainda, mas esta versão é totalmente confiável, e os recursos disponibilizados possibilitam análises precisas o bastante, e assim não invalida o estudo realizado.

A *crash box* 1 apresentou resultados significativamente superiores a *crash box* modelo, nas 3 características analisadas, absorvendo 42,44 vezes mais energia que o modelo sem gatilhos.

A *crash box* 2 apresentou resultados superiores com 3,59 vezes mais deformação, 14 vezes mais tensão de deformação sofrida e 69 vezes mais energia absorvida.

A *crash box* 3, por sua vez, apresentou os melhores resultados dos modelos de gatilhos de iniciação testados com 7,36 vezes mais deformação, 21 vezes mais tensão de deformação sofrida e 290 vezes mais energia absorvida.

A partir da tabela 1 fica mais clara a diferença entre os resultados. A inserção dos gatilhos de iniciação teve efeito significativo nos resultados de deformação total, tensão e energia absorvida que, por coincidência, ficaram em ordem crescente.

Tabela 1 – Dados obtidos após as simulações

Modelo	Deformação total (mm)	Tensão máxima (Mpa)	Energia absorvida (MJ)
Crash box sem	0,147	371,39	0,177
Crash box 1	0,465	3021,4	7,512
Crash box 2	0,529	5246,1	12,247
Crash box 3	1,083	7856,3	51,415

Fonte: Balbino e Martins (2021).

Os resultados mostram que a inserção de gatilhos de iniciação modifica as características de uma *crash box* e que o tipo de gatilho modifica mais ou menos as características iniciais. Pode-se notar que os gatilhos com as pontas arredondadas e

em posição diagonal se saíram melhor nas simulações apresentando resultados mais satisfatórios.

A alteração das características físicas dos modelos, como: espessura da chapa, altura e largura, tipo de material e o tipo de gatilho poderia causar modificação nos resultados, melhorando-os ou piorando-os. Tais mudanças só poderiam ser verificadas a partir de novas simulações.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados mostram que houve modificações nos valores de energia absorvida pelas *crash boxes*, porém, não foi possível definir um padrão para as melhores formas de gatilho para a inserção em uma *crash box*. Assim, sugere-se para trabalhos futuros o estudo detalhado das formas dos gatilhos determinando a melhor forma de inserção em uma *crash box*, a fim de se obter os melhores resultados quanto a absorção de energia. A posição dos entalhes também é algo a ser estudado mais a fundo com a finalidade de se alcançar dados mais claros a respeito da melhor posição quanto a alinhamento e orientação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aço plano. **O uso de aço no setor automobilístico**. Disponível em: <http://www.acoplano.com.br/blog/o-uso-do-aco-no-setor-automobilistico/>. Acesso em 02 jun. 2021

AUERSVALDT, RAMÔN RUTHES. Análise paramétrica de absorvedores de energia de impacto poligonais com janelas laterais. 2014. Tese de mestrado (Mestrado em engenharia mecânica) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, USP, São Paulo, 2014.

DA COSTA, LUCAS PIRES. Metodologia de análise e otimização de absorvedores de energia em automóveis. 2020. Tese de mestrado (Mestrado em engenharia mecânica) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, USP, São Paulo, 2020.

DETRANPR. Educação para o trânsito. Disponível em: <http://www.educacaotransito.pr.gov.br/pagina-221.html#:~:text=Para%20um%20carro%20numa%20batida,impacto%20equivalente%20a%20820%20Kg.&text=Mesmo%20que%20um%20ve%C3%ADculo%20esteja,muitos%20casos%2C%20podem%20ser%20fatais.> Acesso em 21 abr. 2021

DIPAOLLO, B.; TOM, J. **A study on an axial crush configuration response of thin-wall, steel box components: The quasi-static experiments.** International journal of solids and structures, Elsevier, v. 43, n. 25-26, p. 7752–7775, 2006.

DOS SANTOS, TULYANE MIGOTTO. Caracterização experimental de absorvedores de energia híbridos – aço e fibra de carbono. 2018. Título de graduação (Bacharel em engenharia automotiva) – Universidade de Brasília, UnB, Brasília, 2018.

Educação automotiva: **As 4 construções de chassi mais comum.** Disponível em: <https://educacaoautomotiva.com/2018/03/30/construcoes-chassis/> Acesso em 04 jun. 2021

GAGO. TERESA. Porque os carros antigamente eram mais resistentes? Disponível em: <http://www.autoclassic.com.br/por-que-os-carros-antigos-eram-mais-resistentes-e-perigosos/>. Acesso em: 02 mar. 2021

LOPES, RAFAEL NASCIMENTO. **Análise de desenvolvimento estrutural para veículos BAJA SAE.** 2016. Título de graduação (Bacharel em engenharia mecânica) – Universidade Federal Fluminense, UFF, Rio de Janeiro, 2016.

NACCARI. FERNANDO. **Como a tecnologia e a inovação influenciaram a relação das pessoas com os automóveis?** Disponível em: <https://www.instacarro.com/blog/tecnologia-automotiva/como-a-tecnologia-e-a-inovacao-influenciaram-a-relacao-das-pessoas-com-os-automoveis/>. Acesso em: 28 fev. 2021

PRASAD, Thanneru R. K, *et al.* **Static Analysis and Optimisation of Chassis and Suspension of an All-Terrain Vehicle.** 2013. International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT), Volume 2. India

REVISTA QUATRO RODAS. Os efeitos colaterais invisíveis das pequenas batidas. Disponível em: <https://quatorrodas.abril.com.br/auto-servico/os-efeitos-colaterais-invisiveis-das-pequenas-batidas/>. Acesso em: 24 abr. 2021

RODRIGUES. DIRCEU. Como são produzidas as lesões no trânsito? Disponível em: <https://www.aldautomotive.com.br/blog/ArticleID/2825/Como-s%C3%A3o-produzidas-as-les%C3%B5es-no-tr%C3%A2nsito>. Acesso em: 28 fev. 2021

ROSA, JOEZER LUÍZ LEONE. Análise dos efeitos das deformações estruturais sobre a transferência transversal de carga em um veículo do tipo fórmula SAE submetido a uma aceleração lateral constante. 2012. Título de graduação (Bacharel em engenharia mecânica) – Universidade Estadual Paulista, UNESP, São Paulo, 2013.

SCHAUN, ANDRE. **O que é carroceria com deformação programada?** Disponível em: <https://autoesporte.globo.com/carros/noticia/2019/09/o-que-e-carroceria-com-deformacao-programada.ghtml>. Acesso em: 28 fev. 2021

SOUZA, S. A: **Ensaio Mecânico de Materiais Metálicos**. 5 Ed. São Paulo: Blucher, 1982. 286 pág.

AZEVEDO, Álvaro F. M. **Método dos elementos finitos**. 2003. 1º edição. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Portugal. 2003.

AUTODESK. Fórmulas de cálculo para vigas. **Disponível em:** https://knowledge.autodesk.com/pt-br/support/inventor/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2022/PTB/Inventor-Help/files/GUID-84D01561-FD7F-4F17-A625-C86F412BE370-htm.html?us_oa=akn-us&us_si=ab27e416-1fe4-4a6bab9271fb7d68d7fb&us_st=f%C3%B3rmula%20de%20c%C3%A1lculo%20de%20tens%C3%A3o%20em%20viga. **Acesso em 08/12/2021.**

ANEXO A

A Tabela 2 mostra a comparação da modificação dos parâmetros analisados em relação a crash box modelo em vezes modificados a mais ou a menos.

Tabela 2 – Relação de modificação dos parâmetros em relação a crash box modelo em quantidade de vezes

Relação de modificação dos parâmetros em relação a crash box modelo em quantidade de vezes			
Modelo	Deformação total	Tensão máxima	Energia absorvida
<i>Chash box</i> sem gatilho	-	-	-
<i>Crash box</i> 1	+ 3,16	+ 8,13	+ 42,44
<i>Crash box</i> 2	+ 3,59	+ 14	+ 69
<i>Crash box</i> 3	+ 7,36	+ 21	+ 290

Fonte: Balbino e Martins (2021).

ANEXO B

Inserção das informações no Ansys

1. Ponto de fixação do modelo, Figura 11.

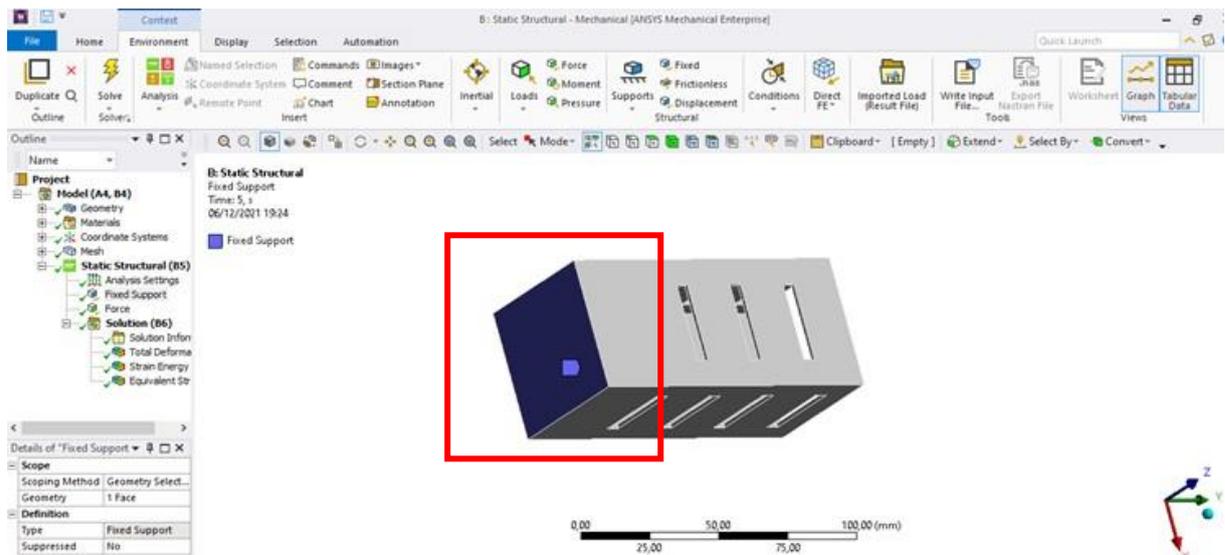


Figura 11: Determinação do ponto de fixação do modelo
Fonte: Balbino e Martins (2021).

2. Determinação do local de aplicação da força

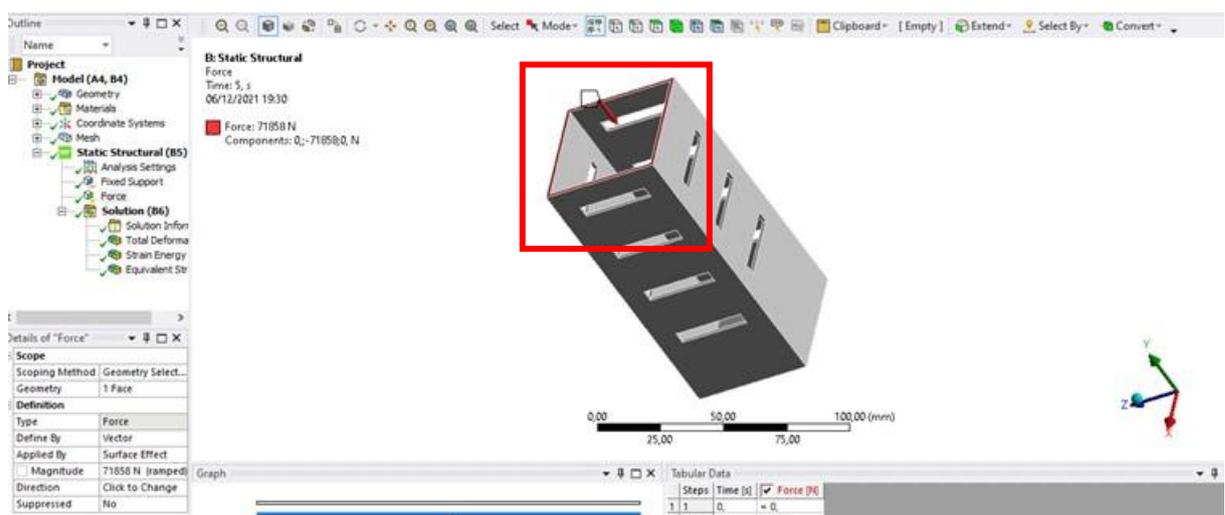


Figura 12: Determinação do ponto de aplicação da força
Fonte: Balbino e Martins (2021).

Determina-se o local de aplicação da força, no caso deste modelo na parte superior em vermelho e o sentido de aplicação.

3. Determinação dos parâmetros

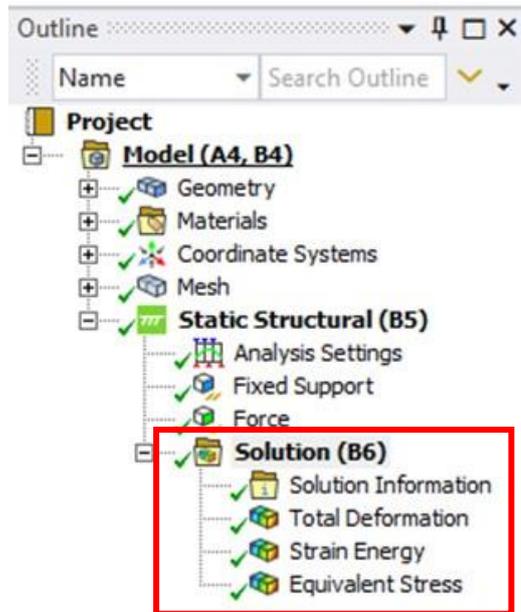


Figura 13: Determinação dos parâmetros de análise
Fonte: Balbino e Martins (2021).

4. Determinação do material.

Na biblioteca Engineering data, marque o aço estrutural (structural steel).

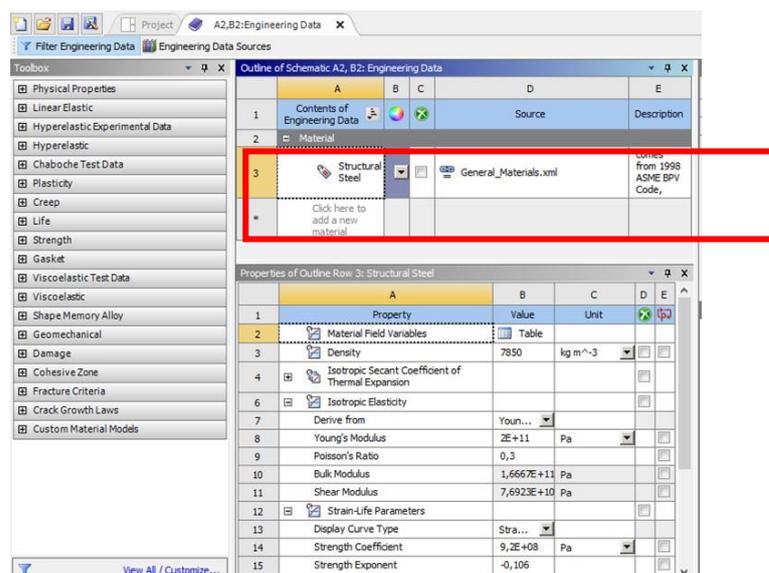


Figura 13: Determinação do material
Fonte: Balbino e Martins (2021).

ANEXO C

Cálculos utilizados pelo Ansys Workbench para determinação dos valores de cada parâmetro.

De acordo com AZEVEDO (2003).

A formulação do MEF requer a existência de uma equação integral, de modo que seja possível substituir o integral sobre um domínio complexo (de volume V) por um somatório de integrais estendidos a sub domínios de geometria simples (de volume V_i). Esta técnica é ilustrada com o seguinte exemplo, que corresponde ao integral de volume de uma função f .

$$\int_V f \, dV = \sum_{i=1}^n \int_{V_i} f \, dV$$

Em (1) pressupõe-se que

$$V = \sum_{i=1}^n V_i$$

Se for possível calcular todos os integrais estendidos aos sub domínios V_i , basta efetuar o somatório correspondente ao segundo membro de (1) para se obter o integral estendido a todo o domínio. Cada sub domínio V_i corresponde a um elemento finito de geometria simples (e.g., segmento de reta, triângulo, quadrilátero, tetraedro, paralelepípedo). O somatório indicado em (1) vai dar origem à operação designada assemblagem, que apresenta muitas semelhanças com a que é efetuada nas estruturas reticuladas.

TENSÃO DE CISALHAMENTO

De acordo com a AUTODESK, estas fórmulas são usadas para solucionar um eixo (com uma ou várias seções) ou uma viga (com uma seção constante) com diversos suportes e cargas.

$$\sum F = 0$$

Eq. (7)

$$T(z) = - \int q(z) dz + \sum_0^n F \quad \text{Eq. (8)}$$

Forças de corte:

Momentos de vergadura:

$$M_B(z) = \int T(z) dz + \sum_0^n M_B \quad \text{Eq. (9)}$$

Ângulo de deflexão:

$$\Phi(z) = - \int \frac{M_B(z) dz}{E * J(z)} + \varphi(0) + \frac{\beta}{G * s(z)} \quad \text{Eq. (10)}$$

Em que: E = Módulo de elasticidade; J = Momento de inércia; G = Módulo de rigidez;
 β = Coeficiente de deslocamento do corte

DEFORMAÇÃO

$$\Delta L = F/K \quad \text{Eq. (11)}$$

Em que: ΔL = Deformação sofrida; K = constante elástica ou constante de proporcionalidade; F = força aplicada sobre o corpo elástico

TENACIDADE

$$\sigma = [k + R_{0\epsilon_p} + R(1 - e^{-b\epsilon_p})][1 + (\epsilon/D)^{1/\rho}] \quad \text{Eq. (12)}$$

Em que: k = Tensão de escoamento inicial; R_0 , R e b são variáveis do modelo matemático, ϵ_p = deformação plástica equivalente; ϵ = taxa de deformação; e D e ρ são parâmetros do modelo Cowper-Symonds