

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA
CÂMPUS JARAGUÁ DO SUL – RAU
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM FABRICAÇÃO MECÂNICA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

DARRIMON NOGARETTI FERNANDES

**PROPOSTA DE REDUÇÃO DA QUANTIDADE DE MODELOS DE
CHAVETA E DISCO DO CONJUNTO DE CATRACA
ANTIRREVERSÃO**

**JARAGUÁ DO SUL
JUNHO 2018**

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA
CÂMPUS JARAGUÁ DO SUL – RAU
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM FABRICAÇÃO MECÂNICA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

DARRIMON NOGARETTI FERNANDES

**PROPOSTA DE REDUÇÃO DA QUANTIDADE DE MODELOS DE
CHAVETA E DISCO DO CONJUNTO DE CATRACA
ANTIRREVERSÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Banca
Examinadora do Instituto Federal
de Santa Catarina – Câmpus
Geraldo Werninghaus em Jaraguá
do Sul como exigência parcial para
obtenção do título de Tecnólogo
em Fabricação Mecânica.
Prof^a. orientadora: Lidiane
Gonçalves De Oliveira.

**JARAGUÁ DO SUL
JUNHO 2018**

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
por meio do programa de geração automática do câmpus Rau, do IFSC

Fernandes, Darrimon Nogaretti
PROPOSTA DE REDUÇÃO DA QUANTIDADE DE MODELOS DE CHAVETA
E DISCO DO CONJUNTO DE CATRACA ANTIRREVERSÃO / Darrimon
Nogaretti Fernandes ; orientação de Lidiane Gonçalves
De Oliveira. Jaraguá do Sul, SC, 2018.
72 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal
de Santa Catarina, Câmpus Jaraguá do Sul -
Rau. Tecnologia em Fabricação Mecânica. .
Inclui Referências.

1. Padronização. 2. Catraca antirreversão. 3. MESCRAI.
I. Gonçalves De Oliveira, Lidiane . II. Instituto
Federal de Santa Catarina. . III. Título.

DARRIMON NOGARETTI FERNANDES

**PROPOSTA DE REDUÇÃO DA QUANTIDADE DE MODELOS DE
CHAVETA E DISCO DO CONJUNTO DE CATRACA
ANTIRREVERSÃO**

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título em Tecnólogo em Fabricação Mecânica, pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, e aprovado na sua forma final pela comissão avaliadora abaixo indicada.

Jaraguá do Sul, 22 de junho de 2018



Profª Me. Lidiane Gonçalves De Oliveira
Orientadora

IFSC – Câmpus Jaraguá do Sul - RAU



Prof. Dr. Edson Sidnei Maciel Teixeira
IFSC – Câmpus Jaraguá do Sul – RAU



Prof. Me. Stélio Jácomo Storti
IFSC – Câmpus Jaraguá do Sul - RAU

RESUMO

As grandes empresas buscam a renovação de seus produtos com o intuito de deixá-los mais competitivos no mercado. Este trabalho propõe a melhoria do sistema de catraca antirreversão em linhas de produto de uma empresa fabricante de motores, almejando a padronização dos componentes que constituem a catraca. Para isso, foram pesquisados os tipos de catracas, seus respectivos materiais de construção bem como suas aplicações. O método MESCRAI é empregado como ferramenta que estimula e direciona ideias para solucionar problemas no processo produtivo ou obsolescência do produto. Na metodologia deste trabalho, foram levantadas as características que determinam os torques máximos permitidos por tamanho de motor para ter-se referência dos requisitos mínimos para os componentes e, então, realizados os dimensionamentos dos modelos dos discos de catraca através do software CAD 3D. Na última etapa, foram realizados cálculos de cisalhamento e esmagamento da chaveta e do rasgo da chaveta utilizando um software de cálculo numérico e, também, em um software de simulação por elementos finitos, para validar todo o sistema de catraca antirreversão. Os resultados obtidos apresentaram uma redução de 68,18% de projetos dos discos da catraca e 73,33% dos projetos de chavetas. Apesar de ter ficado 8,2% mais caro, comparando com o modelo antigo, o projeto se tornou mais robusto e mais dinâmico para a montagem, pois foi possível reduzir a quantidade de chaveta para apenas uma unidade por catraca.

PALAVRAS CHAVES: Padronização. Catraca antirreversão. MESCRAI.

ABSTRACT

The big companies want to renew their products in order to make them more competitive in the market. This work proposes the improvement of the non-reversing ratchet system used in product lines of an engine manufacturer, the goal at the standardization of the components that make up the ratchet. For this, the types of ratchets, their respective construction materials as well as their applications were investigated. The MESCRAI method is used as a tool that stimulates and directs ideas to solve problems in the productive process or obsolescence of the product. In the methodology of this work, the characteristics that determine the maximum torques allowed by engine size were raised to have reference of the minimum requirements for the components and then realized the design of the ratchet disc models through CAD 3D software. In the last step, shear and crushing calculations of the key and keyway were performed using a numerical calculation software and also finite element simulation software, to validate the entire non-reversing ratchet system. The results obtained showed a reduction of 68.18% of designs of the ratchet discs and 73.33% of the key designs. Despite being 8.2% more expensive, compared to the old model, the design became more robust and more dynamic for the assembly, because it was possible to reduce the number of key to only one unit per ratchet.

KEYWORDS: Standardization. Non-reversing ratchet. MESCRAI.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Transportador de correia.....	18
Figura 2 – Ventiladores	19
Figura 3 – Nomenclatura AISI e SAE para aços	22
Figura 4 – Quadro de questionamento MESCRAI.....	24
Figura 5 – Alternativas de melhorias	25
Figura 6 – Tipo sem mancais	27
Figura 7 – Tipo com mancais	28
Figura 8 – Modelo de catraca antirreversão desenvolvido pelo fornecedor	29
Figura 9 – Modelo de catraca antirreversão desenvolvida na WEG.....	29
Figura 10 – Representação do acionamento dos pinos	30
Figura 11 – Modelo de catraca WEG com chaveta dupla	31
Figura 12 – Chaveta cisalhada e propagação de trinca no cubo do disco	33
Figura 13 – Disco quebrado	34
Figura 14 – Eixo deformado	34
Figura 15 – Modifique.....	46
Figura 16 – Elimine a dupla chaveta	46
Figura 17 – Substitua	47
Figura 18 – Combine.....	47
Figura 19 – Rearranje	48
Figura 20 – Adapte.....	48
Figura 21 – Inove	49
Figura 22 – Montagem com disco mais utilizado.....	50
Figura 23 – Montagem com disco de comprimento máximo	51
Figura 24 – Dados básicos para o cálculo no Mathcad.....	56
Figura 25 – Dados das propriedades dos materiais no Mathcad	57
Figura 26 – Dados do fator da chaveta no Mathcad.....	58
Figura 27 – Amplitude do torque	59
Figura 28 – Contado dos dois pinos.....	60
Figura 29 – Análise entre disco e chaveta	61
Figura 30 – Análise entre os raios da chaveta e o cubo.....	61
Figura 31 – Análise entre eixo e chaveta	62

Figura 32 – Análise entre as face de eixo e chaveta.....	62
Figura 33 – Análise entre os raios da chaveta e o eixo.....	63
Figura 34 – Análise entre as superfícies do eixo e do cubo.....	64
Figura 35 – Coeficientes menores que o permitido em pequenas regiões.....	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resultados do método analítico	65
Tabela 2 – Resultados da simulação de elementos finitos.....	66

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Levantamento de problemas.	36
Quadro 2 – TBV.	37
Quadro 3 – Torques máximos por carcaça	39
Quadro 4 – Quantidade de itens ativos no sistema por componente	43
Quadro 5 – Material do disco da catraca.....	44
Quadro 6 – Comprimentos dos discos e chavetas	44
Quadro 7 – Relação entre os diâmetros interno dos componentes.....	44
Quadro 8 – Distâncias mínimas por carcaça.....	45
Quadro 9 – Largura, altura e matéria-prima da chaveta.....	45
Quadro 10 – Avaliação do comprimento do disco	51
Quadro 11 – Avaliação do comprimento da chaveta.....	52
Quadro 12 – Avaliação da largura e altura da chaveta	52
Quadro 13 – Avaliação do assento do disco	53
Quadro 14 – Avaliação da matéria-prima do disco.....	54
Quadro 15 – Avaliação da matéria-prima da chaveta	54
Quadro 16 – Dados para métodos analíticos e por elementos finitos	59
Quadro 17 – Modelos dos discos de catraca	67
Quadro 18 – Chavetas padronizadas.....	67

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<i>AISI</i>	<i>American Iron and Steel Institute</i>
<i>ASME</i>	<i>American Society of Mechanical Engineers</i>
<i>ISO</i>	<i>International Organization for Standardization</i>
<i>SAE</i>	<i>Society of Automotive Engineers</i>
<i>TBV</i>	Tabela de valores

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Grandeza	Unidade
<i>Ach</i>	Altura da chaveta	[<i>mm</i>]
<i>ch</i>	Chanfro da chaveta	[<i>mm</i>]
<i>Cn</i>	Conjugado nominal	
<i>Cp</i>	Conjugado de partida	
<i>d1</i>	Diâmetro onde se encontra a chaveta	[<i>mm</i>]
<i>Ech</i>	Largura da chaveta	[<i>mm</i>]
<i>Fcs</i>	Força de cisalhamento	[<i>N</i>]
<i>FSc</i>	Fator de segurança ao esmagamento no cubo	
<i>FSch</i>	Fator de segurança ao esmagamento na chaveta	
<i>FSchc</i>	Fator de segurança ao cisalhamento na chaveta	
<i>FSe</i>	Fator de segurança ao esmagamento no eixo	
<i>h</i>	Folga entre circunferência do eixo e rasgo da chaveta	[<i>mm</i>]
<i>Kch</i>	Coeficiente de concentração de tensão	
<i>Lch</i>	Comprimento da parte reta da chaveta	[<i>mm</i>]
<i>Nn</i>	Rotação nominal	[<i>RPM</i>]
<i>Pn</i>	Potência nominal	[<i>KW</i>]
<i>Re</i>	Raio onde se encontra a chaveta	[<i>mm</i>]
<i>Sc</i>	Área de resistência à compressão da chaveta na região do cubo do disco	[<i>mm</i> ²]
<i>Se</i>	Área de resistência à compressão da chaveta na região do eixo	[<i>mm</i> ²]
<i>Syc</i>	Resistência ao escoamento do cubo na tração	[<i>MPa</i>]
<i>Sych</i>	Limite de escoamento da chaveta	[<i>MPa</i>]
<i>Sye</i>	Resistência ao escoamento do eixo na tração	[<i>MPa</i>]
<i>T1</i>	Tensão de cisalhamento	[<i>MPa</i>]
<i>T1esc</i>	Resistência ao escoamento da chaveta	[<i>MPa</i>]
<i>Tmax</i>	Torque máximo da aplicação	[<i>MPa</i>]
<i>Tn</i>	Torque nominal	[<i>MPa</i>]
ω	Velocidade angular	[<i>rad/s</i>]

φ	Fator de majoração de torque	
σ_e	Tensão normal de compressão da chaveta no eixo	[MPa]
σ_c	Tensão normal de compressão da chaveta no cubo	[MPa]

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	SITUAÇÃO PROBLEMA	16
1.2	OBJETIVOS	16
1.2.1	Objetivo geral	16
1.2.2	Objetivos específicos	16
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1	CATRACA ANTIRREVERSÃO.....	17
2.2	APLICAÇÕES DE MOTOR COM CATRACA	18
2.3	MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO DE CATRACA.....	19
2.3.1	Ferro fundido	19
2.3.2	Aço	20
2.4	TRATAMENTO TÉRMICO	22
2.4.1	Têmpera e revenido	22
2.5	MÉTODO MESCRAI.....	24
3	desenvolvimento	26
3.1	CATRACAS ANTIRREVERSÃO.....	26
3.1.1	Defeitos nos motores com catraca	32
3.2	PLANEJAMENTO DO PROJETO.....	35
3.2.1	Levantamento de dados	35
3.2.2	Método MESCRAI	46
3.3	PROJETO CONCEITUAL.....	49
3.4	VALIDAÇÃO DOS COMPONENTES	55
3.4.1	Rotina de cálculos	55
3.4.2	Simulação por elementos finitos	59
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	65
5	CONCLUSÕES	69
	REFERÊNCIAS	70

1 INTRODUÇÃO

A capacidade em manter os produtos otimizados, frente às necessidades do ambiente econômico e tecnológico, tem-se tornado cada vez mais vital para as empresas manterem-se competitivas. Esse fator é conseguido através da excelência em gerir o processo de desenvolvimento e de melhoria de produtos e, principalmente, manter-se atento ao mercado e nas fontes de inovações tecnológicas. Porém, quando são avaliados os avanços de um produto, percebe-se que a evolução ocorrida resulta de muitos incrementos no decorrer do tempo. Constantemente, são realizadas mudanças que melhoram o desempenho global, ou qualidade total do produto, pois esse processo é dinâmico e contínuo (TOLEDO, 1994).

Atualmente, uma das ferramentas para a melhoria de produto disponível é o MESCRAI, que basicamente é um método intuitivo de geração de alternativas. Esse método tem sido escolhido nas empresas que buscam para seus produtos mais qualidade e menores custos no processo produtivo. E ao mesmo tempo em que é assertivo mostra-se ser dinâmico também, pois estimula ideias através de uma lista de verificações de possíveis mudanças no produto (CARDOSO, 2014).

Dentre o portfólio de produtos da empresa estudada, foi escolhida para realizar o estudo deste trabalho, a linha de motores elétricos especiais com catraca antirreversão, sendo a catraca um dispositivo mecânico de segurança que evita o giro em um sentido contrário ao sentido normal de funcionamento do motor. Esse tipo de dispositivo é fixado através de chaveta entre o eixo e o cubo do disco da catraca. Atualmente, os projetos customizados de motor com catraca antirreversão causam a despadronização desses componentes. O que ocasiona diversos problemas na linha de montagem e nos custos do produto.

O diâmetro do eixo no assento onde se localiza a chaveta e a profundidade do rasgo no cubo e são determinadas pela largura da chaveta, ou seja, apenas o comprimento da chaveta e o número de chavetas no cubo são variáveis de projeto (NORTON, 2013).

Visando a padronização de catracas antirreversão empregados nos projetos da empresa, será apresentada abaixo, uma proposta de melhoria do

sistema de catraca antirreversão acopladas nos eixos lisos de motores elétricos.

1.1 SITUAÇÃO PROBLEMA

Como reduzir a quantidade de chaveta e disco do conjunto catraca antirreversão utilizadas nos motores das linhas HGF e W50?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Reduzir o número de projetos de catraca antirreversão empregados em motores.

1.2.2 Objetivos específicos

- a) Analisar as possíveis falhas no sistema de catraca e nas matérias-primas utilizadas na fabricação da chaveta e do disco da catraca;
- b) Verificar a possibilidade de eliminar a chaveta adicional do disco catraca;
- c) Padronizar componentes, levando em consideração a robustez do componente.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para poder atingir aos objetivos propostos nesse trabalho, foram realizadas revisões bibliográficas sobre catraca antirreversão, aplicação de motor com catraca, materiais para construção de catraca e o tratamento térmico nos componentes. Além disso, foi encontrada a metodologia MESCRAI, que é uma ferramenta importante na melhoria de produtos.

2.1 CATRACA ANTIRREVERSÃO

No caso de falha no sistema de alimentação do motor, como por exemplo, uma condição de alimentação somente em uma fase, a catraca evita que o motor gire no sentido contrário e permite que sistemas de proteção atuem e evitem danos ao motor ou ao sistema de bombeamento.

A função da catraca antirreversão, utilizada em motores elétricos, é de impedir a rotação do eixo no sentido inverso ao da aplicação normal da máquina. Esse dispositivo, uma vez instalado, não necessita de nenhum tipo de operação ou acionamento mecânico/hidráulico, e possui um alto torque de travamento quando comparado a um freio eletromagnético normal. Porém, esse dispositivo não faz a frenagem do equipamento, apenas impede seu giro em um sentido não desejado, impedindo a inversão do sentido de rotação, evitando danos à máquina, prejuízos operacionais, perdas financeiras e preservando a integridade física dos operadores. Geralmente, motor elétrico com catraca de antirreversão, é aplicado em correias transportadoras, elevadores, guindastes, redutores de velocidade e bombas (NIEMANN, 1971).

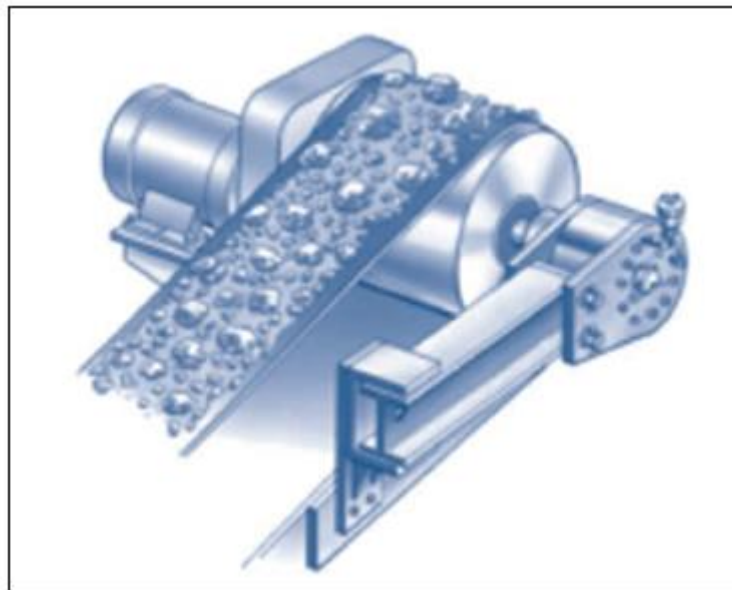
2.2 APLICAÇÕES DE MOTOR COM CATRACA

As aplicações em motores com catraca mais utilizadas, no sistema com mancal, são o transportador de correia, como é mostrada na Figura 1, ventiladores, conforme Figura 2, e bombas hidráulicas.

O transportador de correia é um equipamento de condução de materiais que opera em conjunto com outros equipamentos, além disso, pode trabalhar na horizontal ou inclinado ou em curvas, podendo até ser em combinado entre essas opções. É utilizado em numerosos processos com o foco em manter um fluxo contínuo de materiais em diversas linhas de operação (NBR 6177, 1998).

Nesse caso, a catraca evita que a peça retorne da posição que parou.

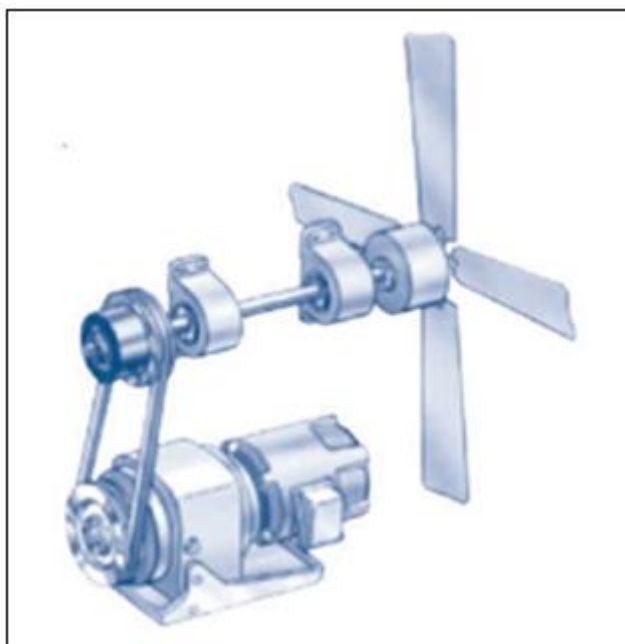
Figura 1 – Transportador de correia



Fonte: Catálogo CBF (2015, p. 7).

Os ventiladores são fluxo geradoras que transmitem a energia mecânica através do eixo para o fluido (gás). Funciona como às bombas, sendo a principal diferença o fato do fluido que recebe energia ser um gás. As características dos ventiladores variam em relação ao seu tipo de rotor: centrífugo, axial e misto. Esses são utilizados em altos-fornos, caldeiras, queimadores e, principalmente, em refrigeração (MOREIRA, 2006).

Figura 2 – Ventiladores



Fonte: Catálogo CBF (2015, p. 7).

2.3 MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO DE CATRACA

Quando é iniciado o estudo de melhoria de um produto, é necessário conhecer as matérias-primas que podem, eventualmente, ser utilizadas na fabricação desse produto. Podendo extrair das propriedades de mecânica do material, através de tratamento térmico, uma maior eficiência para o produto.

Pensando nisso, foram pesquisados tais materiais de fundamental importância para a padronização do produto, como pode ser visto abaixo.

2.3.1 Ferro fundido

Os ferros fundidos são ligas de ferro-carbono-silício que são constituídos de aproximadamente 2-4% C e 0,5-3% Si, que passam pela reação eutética durante a solidificação. A microestrutura da matriz e as propriedades de cada tipo de ferro fundido são determinadas pela forma como a austenita se transforma durante a reação eutetóide (CALLISTER, 2008).

Segundo Askeland (2008), os ferros fundidos podem também ser austemperados para produzir bainita, ou podem ser temperados e revenidos. O ferro fundido nodular austemperado com resistência mecânica de até 1.380 MPa é usado para engrenagens de alto desempenho.

O ferro fundido nodular ou ferro esferoidal é, também, chamado de ferro fundido dúctil. As ligas contendo magnésio, cério, cálcio, lítio, sódio ou bário são adicionados no processo de nodulização. Esse ferro é o que mais se aproxima das propriedades mecânicas dos aços, pois eles possuem alta resistência à tração e limite de escoamento alto, porém diminui a tenacidade (alongamento) proporcionalmente. As aplicações mais comuns do ferro nodular, incluem-se as válvulas, os corpos de bombas, virabrequins, engrenagens e outros componentes automotivos e de máquinas (CALLISTER, 2008).

2.3.2 Aço

Talvez nenhum metal seja tão comumente utilizado nas sociedades avançadas como o aço carbono, que consiste em átomos intersticiais de carbono e uma matriz de ferro. O aço é produzido a partir três matérias-primas básicas: minério de ferro, carvão e calcário. O minério de ferro fornece todo o ferro do sistema. Ele é peletizado, sinterizado e carregado a um grande alto-forno. Os componentes voláteis do carvão são removidos através de um processo denominado coqueificação e o material resultante, rico em carbono, é carregado ao alto-forno. Ao ser aquecido, o minério de ferro é reduzido a ferro metálico e os gases de dióxido de carbono e monóxido de carbono são liberados. O calcário moído é adicionado ao fundido e forma uma camada de escoria acima do metal. A escoria ajuda a remover impurezas do sistema. O metal resultante, denominado ferro gusa, é então, tratado com oxigênio para remover o excesso de carbono e se tornar o aço (NEWELL, 2010).

Para poder diferenciar os aços, motivado pela importância do carbono, é levado em consideração teor de carbono foi necessário. Para isso, é necessário a utilização de um conjunto de quatro algarismos, no qual os dois últimos indicam o número de centésimos de por cento, equivalente ao teor de carbono, como pode ser observado na Figura 3. Enquanto os dois primeiros dígitos indicam o tipo de elemento de liga adicionado ao ferro e carbono. A classificação (10xx) é reservada para os aços-carbono comuns, com um mínimo de outros elementos de liga (ASKELAND, 2008).

Essas designações são aceitas como padrão pelo AISI (“American Iron and Steel Institute”) e pela SAE (“Society of Automotive Engineers”). Muitos dos aços comerciais não se incluem nesta classificação, quer em virtude das composições não se encaixarem nos tipos previstos, quer por envolverem faixas menores da variação dos teores dos elementos de liga. Comumente, entretanto, estes aços tem aplicações mais especializadas e não são mantidos em estoque pelos fornecedores (VAN VLACK, 1970).

A resistência ao desgaste dos metais depende do acabamento da superfície metálica, a qual deve apresentar-se sem rugosidade acentuada, de modo a eliminar depressões ou projeções que, no movimento típico do desgaste metálico, produzem o arranchamento inicial de partículas. Da dureza, a qual deve ser mais elevada possível, para que uma parte da peça metálica resista à penetração inicial da projeção de outra parte, ambas ou uma só em movimento. Da resistência mecânica e da tenacidade que, quanto mais elevadas, tanto mais dificultado ficará o arranchamento de partículas metálicas (CHIAVERINI, 1986).

A rigor, a dureza é o fator mais importante, pois dela depende o início do desgaste. Além disso, é o fator metalúrgico que mais interessa na discussão dos aços resistentes ao desgaste.

Os mais famosos aços resistentes ao desgaste são os denominados “*Hadfield*”, do tipo “manganês austenítico”. Contem alto teor de carbono e alto teor de manganês.

Outros elementos de liga, tais como cromo, níquel e cobre, podem ser adicionados para melhorar a resistência ao desgaste abrasivo, ou seja, desgaste de metal contra uma substância não metálica: cromo entre 1,5 e 2,0%, cobre até 5% ou níquel em torno de 3,0% (CHIAVERINI, 1986).

Figura 3 – Nomenclatura AISI e SAE para aços

Número SAE ou AISI	Composição
10xx	Aços ao carbono comuns*
11xx	Aços ao carbono resulfurados (para boa usinabilidade)
15xx	Manganês (1,0 a 2,0%)
40xx	Molibdênio (0,20 a 0,30%)
41xx	Cromo (0,40 a 1,20%), molibdênio (0,08 a 0,25%)
43xx	Níquel (1,65 a 2,00%), cromo (0,40 a 0,90%), molibdênio (0,20 a 0,30%)
44xx	Molibdênio (0,5%)
46xx	Níquel (1,40 a 2,00%), molibdênio (0,15 a 0,30%)
48xx	Níquel (3,25 a 3,75%), molibdênio (0,20 a 0,30%)
51xx	Cromo (0,70 a 1,20%)
61xx	Cromo (0,70 a 1,10%), vanádio (0,10%)
81xx	Níquel (0,20 a 0,40%), cromo (0,30 a 0,55%), molibdênio (0,08 a 0,15%)
86xx	Níquel (0,30 a 0,70%), cromo (0,40 a 0,85%), molibdênio (0,08 a 0,25%)
87xx	Níquel (0,40 a 0,70%), cromo (0,40 a 0,60%), molibdênio (0,20 a 0,30%)
92xx	Silício (1,80 a 2,20%)

xx: conteúdo de carbono 0,xx%.

* Todos os aços ao C comuns contêm 0,50% ± de Mn, e quantidades residuais (< 0,05% em peso) de outros elementos.

Fonte: Van Vlack (1970).

2.4 TRATAMENTO TÉRMICO

Os procedimentos de aquecimento e resfriamento controlados são feitos a fim de afetar as propriedades mecânicas dos aços e ligas especiais, são denominados tratamento térmico. Os tratamentos térmicos dos aços e ligas englobam uma das mais amplas faixas de temperatura dentre os processos industriais, variando desde o tratamento subzero para a estabilização, até a austenitização de alguns tipos de aços rápidos a 1280°C (SILVA, 2010).

2.4.1 Têmpera e revenido

Uma das características principais dos aços é o fato de ter a possibilidade de alterar as suas propriedades mecânicas, através de tratamentos térmicos, alterando a sua resistência e tenacidade.

Para uma fácil diferenciação entre a têmpera e revenido e como elas trabalham em conjunto, podemos dizer que a têmpera endurece a maioria dos aços e o revenido aumenta a tenacidade (ASKELAND, 2008).

Segundo Silva (2010) para o controle da taxa de resfriamento, utilizam-se diversos meios de tempera, com diferentes capacidades de extração de calor (severidade). Os meios de têmpera mais comuns são: água (pura, com adição de sal ou com adição de polímeros), óleo e ar, embora outros meios gasosos possam ser empregados (nitrogênio, hélio, argônio etc.).

Enquanto o objetivo da têmpera é obter uma estrutura martensítica, sendo esfriado rapidamente, assim evitando a transformação da austenita em seus produtos normais, o revenido procura corrigir os excessos da têmpera, diminuindo ou eliminando as tensões e corrigir excessiva dureza e a fragilidade do produto (CHIAVERINI, 1986).

2.5 MÉTODO MESCRAI

O método MESCRAI baseia-se em questionamentos no intuito de levantar ideias para a melhoria do produto ou processo, ou seja, pode ser considerado um processo de afunilamento de ideias, pois é usualmente utilizado após um brainstorming (MELO, 2015).

Segundo Eberle (1997, apud MELO, 2015, p. 93), “O termo MESCRAI é uma adaptação do original em inglês SCAMPER, amplamente divulgado por Osborn e Baxter”. Para manter a força da sonoridade em português, a ordem das ações foi modificada sem perder o sentido. Estas ações ajudam no processo de maximização do valor das ideias geradas.

As siglas do método MESCRAI significam: Modificar, Eliminar, Substituir, Combinar, Rearranjar, Adaptar e Inverter (Inovar). Na Figura 4 estão exemplificados os questionamentos para cada etapa.

Figura 4 – Quadro de questionamento MESCRAI

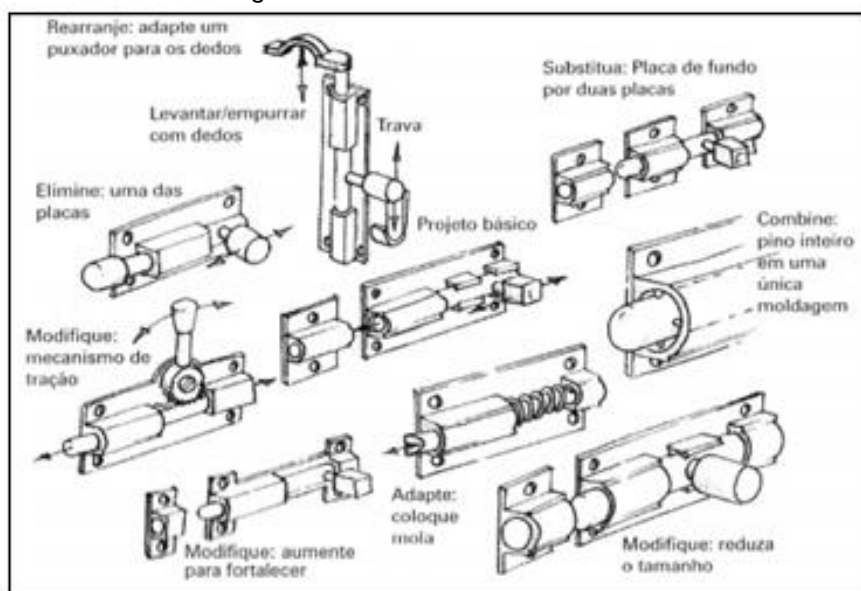
Palavras-chave	Questões instigadoras
modificar	<ul style="list-style-type: none"> • há uma nova tendência? • pode-se modificar significado, cor, movimento, som, odor, forma? • pode-se adicionar tempo? • maior frequência, maior resistência, maior altura, maior valor? • pode-se duplicar, multiplicar ou exagerar?
eliminar	<ul style="list-style-type: none"> • pode-se subtrair, condensar, diminuir, encurtar, reduzir peso, omitir, dividir?
substituir	<ul style="list-style-type: none"> • quem ou o que se pode substituir? • existem outros ingredientes apropriados, materiais, processos, aproximações?
combinar	<ul style="list-style-type: none"> • pode-se usar uma mistura, uma liga, uma montagem? • pode-se combinar unidades e idéias?
rearranjar	<ul style="list-style-type: none"> • pode-se intercambiar componentes? • pode-se usar outra configuração, leiaute ou seqüência? • pode-se modificar o modo ou esquema?
adaptar	<ul style="list-style-type: none"> • o que mais é igual a isto? • que outra idéia isto sugere? • o passado oferece qualquer paralelo? • o que se pode copiar ou imitar?
inverter	<ul style="list-style-type: none"> • pode-se trocar o positivo e o negativo? • trocar a frente e atrás, de cima e de baixo?

Fonte: Back (2008).

Essa técnica criativa possui uma imensa rede de alternativas e artifícios plausíveis e que elucidam linhas de pensamentos, deixando-os menos cansativo e que o resultado atenda às necessidades iniciais. Porém, ao mesmo tempo esse método, por ser “simplista”, pode não ser a melhor ferramenta para arranjar soluções complexas. Mas, eficiente em melhorias de produtos já existentes (MELO, 2008).

Para facilitar o processo de criação de soluções do problema é recomendado a utilização de desenhos ou esboços. No fim dos estudos, pode ser utilizado um ou mais dos esboços para implantar as melhorias necessárias (BAXTER, 2008), conforme mostra Figura 5.

Figura 5 – Alternativas de melhorias



Fonte: Baxter (2008).

3 DESENVOLVIMENTO

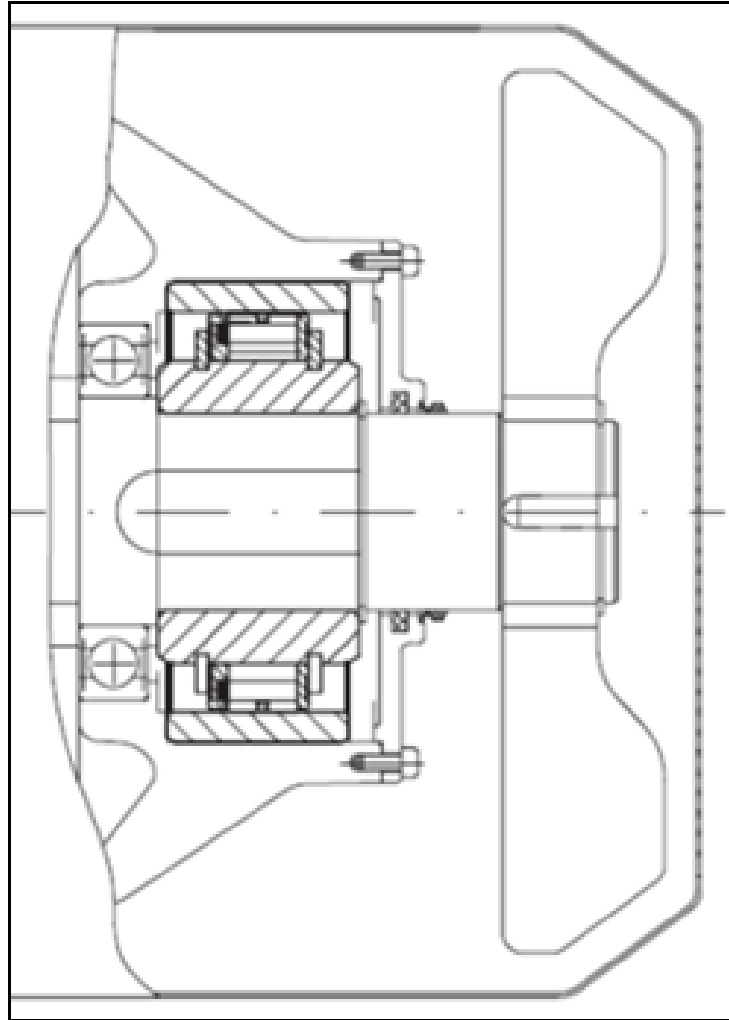
Sendo o objetivo principal deste trabalho, reduzir o número de projetos de catraca antirreversão, foram levantadas os tipos de catracas antirreversão utilizadas na empresa estudada e pela pesquisa de defeitos ou problemas que o produto demonstrava tanto na linha de montagem quanto no campo. E então, realizado o planejamento do projeto para ter o embasamento para poder ser iniciado o projeto conceitual. Conforme pode ser visto abaixo.

3.1 CATRACAS ANTIRREVERSÃO

Existem diversos modelos de catraca na indústria e na literatura esse sistema pode ser encontrado por diversos nomes, como por exemplo, catraca de não reversão, catraca de antirrecuo, catraca de contra recuo, catraca de antirreversão e catraca de roda livre.

A opção de utilização de catraca antirreversão diretamente no equipamento, modelo sem mancais, pode ser acoplado no motor elétrico ou bombas. Nesta opção, a catraca não necessita de lubrificação e são isentos de manutenção, como pode ser visto na Figura 6.

Figura 6 – Tipo sem mancais

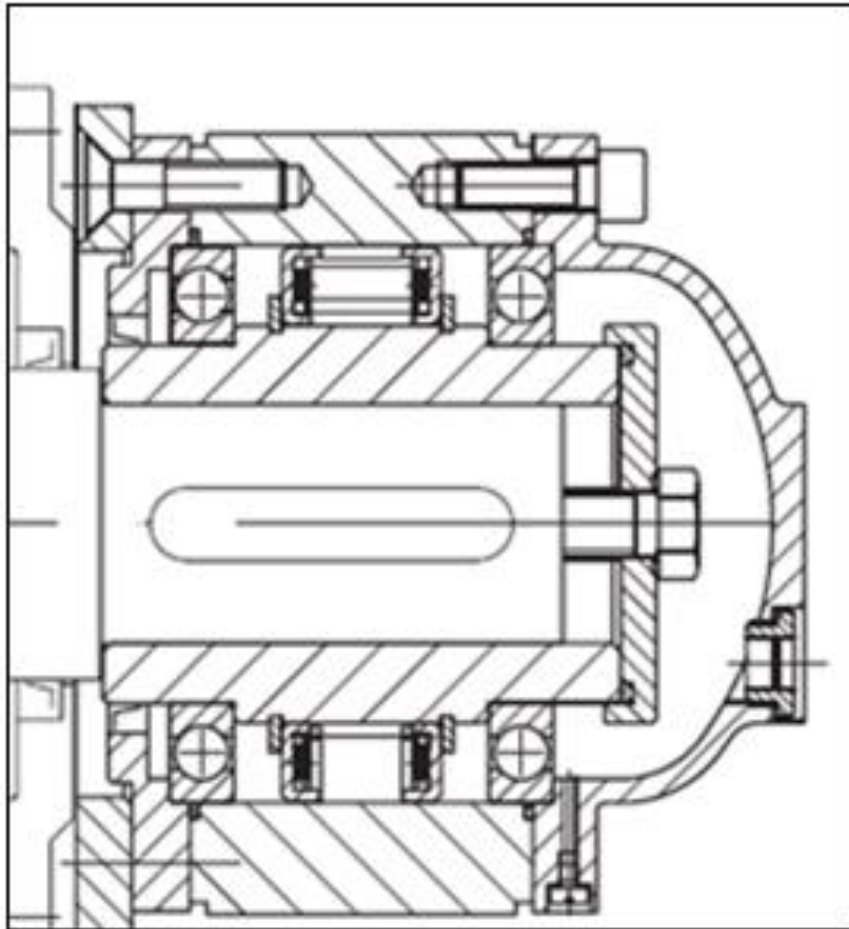


Fonte: Catálogo Ringspann (2018, p. 9)

Outra situação, é quando pode ser instalado no eixo do mancal do equipamento principal, utilizando-se de um braço de torque para garantir que a catraca não gire após seu bloqueio. Quando este braço de torque é solto, o eixo pode ser girado em ambas as direções. Este tipo de catraca necessita de relubrificação, conforme mostra

Figura 7.

Figura 7 – Tipo com mancais



Fonte: Catálogo Ringspann (2018, p. 32)

Na empresa estudada existem dois modelos de catraca antirreversão, sendo um modelo com projeto e fabricação externa, como ilustra a Figura 8, cuja a especificação do mesmo varia de acordo com as características do motor e é indicado através de um código do catálogo do fornecedor de catraca antirreversão.

O funcionamento do sistema de contra-recuo ocorre quando o anel interno é direcionado no sentido oposto ao da roda livre e o anel externo é travado por um braço de torque ou em uma base fixa da máquina. Esse bloqueio é possível devido ao projeto de corpo de bloqueio de basculamento e rolo rampa (VULKAN,2018).

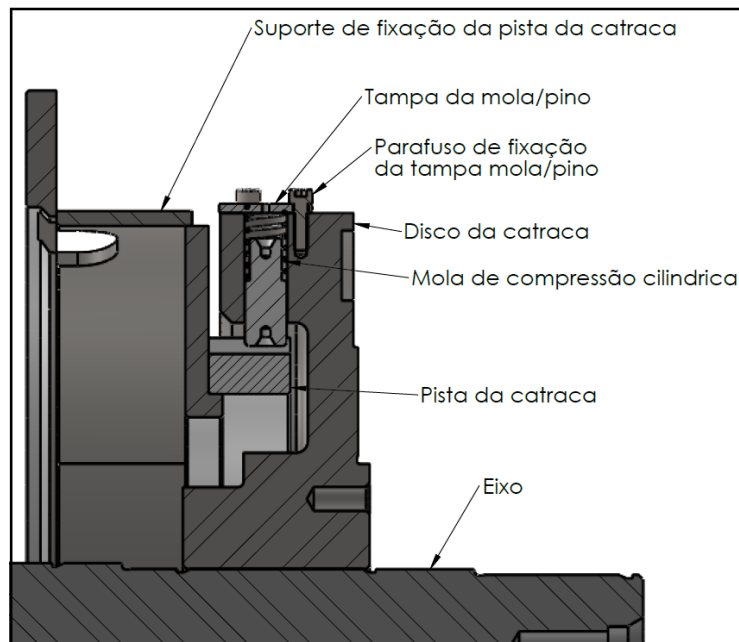
Figura 8 – Modelo de catraca antirreversão desenvolvido pelo fornecedor



Fonte: Catálogo Ringspann (2018, p. 60)

O outro modelo é projetado internamente e com fabricação terceirizada. Esse modelo foi desenvolvido pela empresa e é composto por um disco montado por interferência no eixo do motor elétrico, uma pista fixada na tampa traseira ou em um suporte e pinos para travamento com retorno por molas, conforme mostra a Figura 9.

Figura 9 – Modelo de catraca antirreversão desenvolvida na WEG

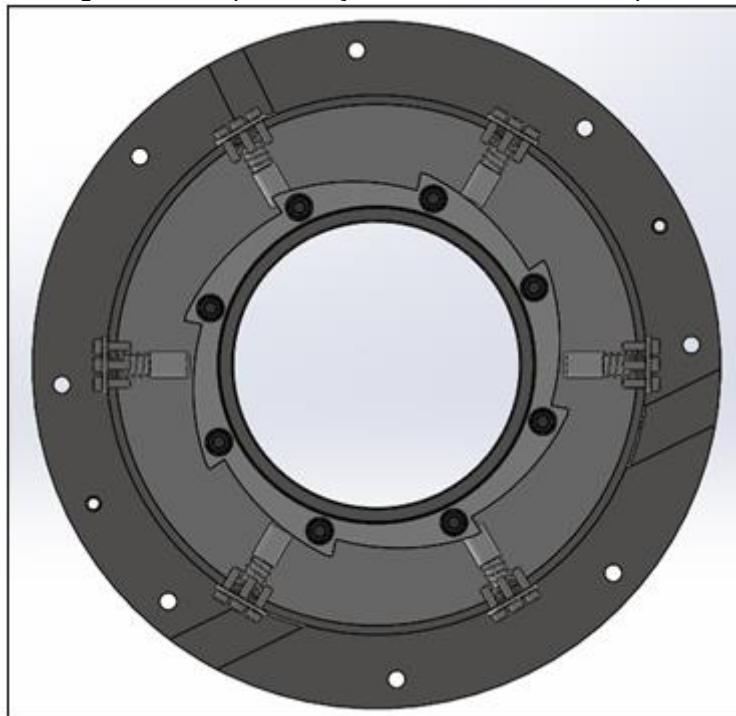


Fonte: O autor (2018).

O sistema é acionado através da força centrífuga gerada pela rotação do eixo do motor, a partir de determinada rotação as molas são comprimidas fazendo com que os pinos sejam afastados da pista. Assim que a rotação diminui há um determinado valor as molas abrem retomando o contato com a pista reativando o sistema de antirreversão.

Para facilitar o entendimento do funcionamento do sistema da catraca, a seguir está representado os componentes que bloqueiam o sentido de rotação. Os pinos estão em contato com a pista e impedem o sentido contrário, como pode ser observado na Figura 10.

Figura 10 – Representação do acionamento dos pinos

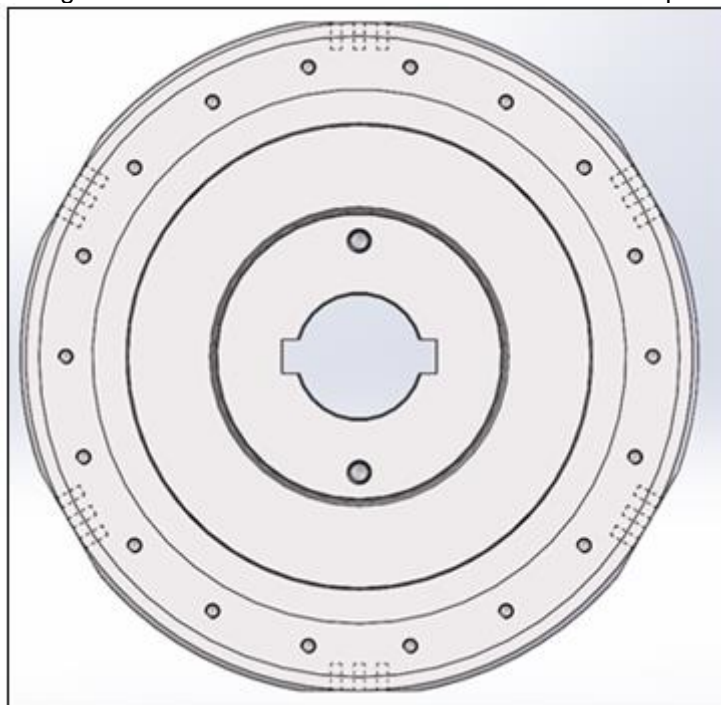


Fonte: O autor (2018).

Quanto ao material os componentes do sistema de catraca podem variar de acordo com a aplicação do motor. Contudo, faz-se necessário a análise dos esforços sujeitos aos componentes por meio de cálculos de cisalhamento e esmagamento da chaveta e do rasgo da chaveta para certificar se o produto estaria apto ou não.

Caso os componentes sejam rejeitados na análise dos cálculos, é necessária a alteração das dimensões e/ou da matéria-prima para fabricação das peças e até, muitas vezes, a utilização da dupla chaveta para aumentar a resistência e do rasgo no eixo e cubo, como pode ser observado na Figura 11.

Figura 11 – Modelo de catraca WEG com chaveta dupla



Fonte: O autor (2018).

Sabendo dos modelos de catraca existentes, foi possível fazer o desenvolvimento do trabalho a fim de solucionar os problemas propostos nos objetivos. Conforme pode ser visto a seguir.

3.1.1 Defeitos nos motores com catraca

Encontrar um processo de fabricação que seja econômico e robusto ao mesmo tempo é um dos maiores desafios na padronização de componentes e redução de custos (ASKELAND, 2008).

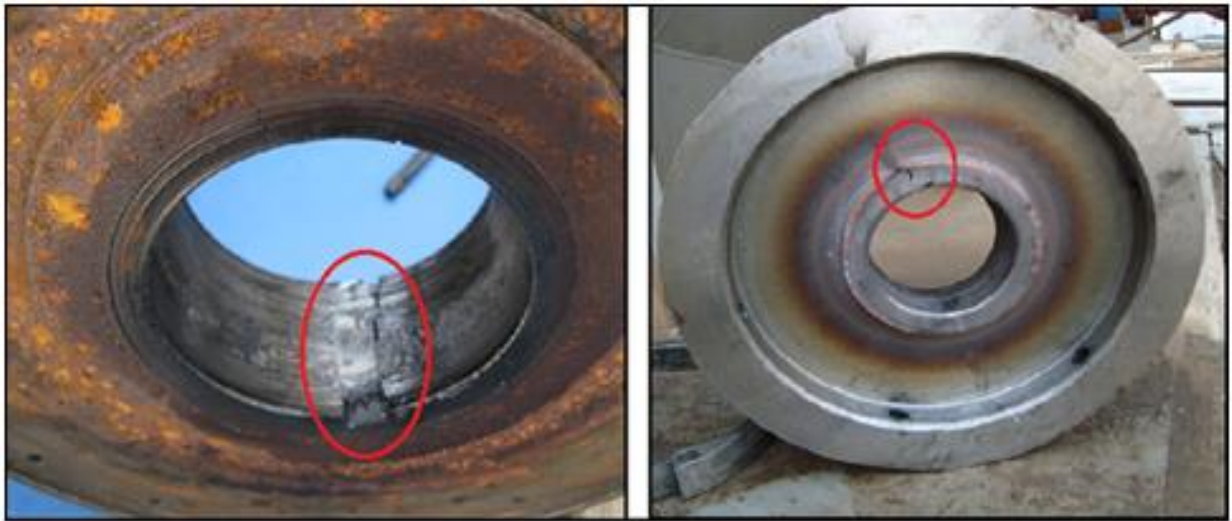
Por isso, é importante saber as propriedades do material e a aplicação que o produto irá operar. Pois, algumas matérias-primas não suportam determinadas solicitações mecânicas.

Para a catraca o material de fabricação deve satisfazer requisitos de desempenho para cada aplicação. Porém, ensaiar certas propriedades de um material pode se tornar difícil. Para isso, é importante transformar em propriedades controláveis por meio de cálculos de aceitação de materiais. Assim, correlacionar parâmetros de desempenho com características mais facilmente controláveis dos materiais pré-selecionados para a aplicação (propriedades mecânicas) até encontrar um material otimizado para o uso (SILVA, 2010).

Na empresa estudada, ocorreram no passado alguns problemas relacionados com o sistema de catraca antirreversão, principalmente, nos componentes do disco da catraca e chaveta.

Em um dos casos, houve o esmagamento e cisalhamento da chaveta causado pelo mau dimensionamento desse componente em relação ao torque na aplicação. Houve, também, a propagação da trinca no cubo causada pela concentração de tensão no rasgo de chaveta como pode ser observado na Figura 12.

Figura 12 – Chaveta cisalhada e propagação de trinca no cubo do disco



Fonte: O autor (2018).

Outro caso de problema em campo, foi a quebra do disco em ferro fundido cinzento (FC-200) na região do alojamento dos pinos de travamento, também, motivada pelo dimensionamento incoerente com a aplicação, conforme representada na Figura 13. Esse problema motivou a criação das variações de matérias-primas na fabricação do disco para que não ocorressem outros casos de quebra similares a esse. Com isso, iniciou-se outro problema, que são as variações dos projetos dos discos que, conseqüentemente, provocam a despadronização dos componentes.

. Figura 13 – Disco quebrado



Fonte: O autor (2018).

Já em relação a montagem dos componentes da catraca ocorre, eventualmente, a deformação no eixo e no cubo do disco devido a retirada do material quando sacado o disco que é montado, em muitos dos caso, desalinhado, como é mostrada na Figura 14. Esse problema ocorre quando a catraca necessita de dupla chaveta no eixo.

Figura 14 – Eixo deformado



Fonte: O autor (2018).

As fraturas nos materiais resultam da formação e propagação de uma trinca, mas diferentes tipos de materiais respondem à formação dessas de

maneira bem diferente. Os materiais dúcteis apresentam deformação plástica bem acentuada na área da trinca (NEWELL, 2010).

3.2 PLANEJAMENTO DO PROJETO

Antes de iniciar o projeto conceitual e o projeto detalhado, faz-se necessário a utilização de dados que sejam fundamentais no desenvolvimento do projeto. Então, nessa etapa são levantadas situações problemáticas e ideias de melhoria para serem servidas de base para ferramentas de apoio ao projeto, sendo para este trabalho a utilização do método MESCRAI.

3.2.1 Levantamento de dados

Na etapa inicial do estudo de melhoria do produto atual, foram pesquisados todos os motores que possuíam o sistema de catraca os problemas no processo de fabricação, no processo de montagem e os defeitos de campo. O Quadro 1 apresenta o resumo desse histórico.

Quadro 1 – Levantamento de problemas.

Problemas na fabricação	Período	Recorrência (unidade)
Desperdício de material causado pelo sobremetal, pois a usinagem parte de um blank forjado	março 2017/março 2018	49
Despadronização de itens	março 2017/março 2018	49
Dificuldade de usinagem quando a chaveta é dupla	março 2017/março 2018	37
Dificuldades de atender as tolerâncias.	março 2017/março 2018	20
Problemas na montagem		
Falta de local para colocar olhal de içamento, pois a peça tem peso elevado.	março 2017/março 2018	49
Dificuldade de montar o disco da catraca quando possui chaveta dupla.	março 2017/março 2018	37
Despadronização de itens.	março 2017/março 2018	49
Defeito de campo		
Disco da catraca quebrado.	outubro/12	3
Chaveta cisalhou.	outubro/12	3

Fonte: O autor (2018).

Os resultados do levantamento apontam que os componentes que mais apresentaram problemas foram o eixo, disco e chaveta.

Após essa constatação, foi realizada uma pesquisa de características na tabela de valores (TBV), que são tabelas das características dos motores padrões, e então separadas em grupos pelos torques, como é observado no Quadro 2.

As características utilizadas para determinar as combinações foram a potência, rotação e a razão entre o conjugado de partida e conjugado nominal. Esses valores foram tabelados em quatro grupos conforme tamanho da carcaça do motor, para evitar o sobredimensionamento do componente.

Quadro 2 – TBV.

Carcaça	Potência [kW]	RPM	Cp/Cn
11/10/5009	330	3575	0.9
11/10/5009	300	1785	0.8
11/10/5009	150	892	0.8
08/07/6806	630	3578	0.8
08/07/6806	660	3580	0.8
11/10/5009	220	1185	1.2
11/10/5009	185	892	0.8
11/10/5009	480	1786	0.8
09/08/5807	330	1189	1
12/11/5810	330	1189	1
12/11/5810	515	1789	0.7
09/08/5807	260	890	1
12/11/5810	260	890	1
09/08/5807	300	890	1
12/11/5810	300	890	1
08/07/6806	660	1789	0.7
11/10/6809	660	1789	0.7
12/11/5810	440	1189	1
08/07/6806	700	1790	0.7
11/10/6809	700	1790	0.7
12/11/5810	515	1189	1
08/07/6806	260	592	1
11/10/6809	260	592	1
7006/10	1100	1792	0.7
08/07/6806	440	714	1
11/10/6809	440	714	1
08/07/6806	590	893	0.9
11/10/6809	590	893	0.9
7006/10	400	595	0.8
7006/10	480	714	0.8
7006/10	515	714	0.8
7006/10	480	595	0.8
7006/10	1000	1194	0.7
7006/10	515	595	0.8
7006/10	630	714	0.8

Fonte: O autor (2018).

Para saber os torques máximos nos motores é necessário utilizar as equações da velocidade angular, do torque nominal e utilizar o fator de majoração.

Primeiramente, é necessário encontrar o valor da velocidade angular através da Equação (1):

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot N_n \quad (1)$$

Onde:

ω = velocidade angular (rad/s)

N_n = rotação nominal (rpm)

Logo em seguida, encontra-se o torque nominal pela Equação (2):

$$T_n = \frac{P_n}{\omega} \quad (2)$$

Onde:

T_n = torque nominal (MPa)

P_n = potência nominal (KW)

Para encontrar o fator de majoração é utilizado a razão entre conjugado de partida e o conjugado nominal, quando o mesmo corresponde acima do próprio valor do conjugado nominal, como pode ser visto na Equação (3):

$$\varphi = \frac{C_p}{C_n} \quad (3)$$

Onde:

φ = fator de majoração de torque

C_p = conjugado de partida

C_n = conjugado nominal

Por fim, é feito o cálculo do toque máximo dos motores conforme Equação (4):

$$T_{max} = \varphi \cdot T_n \quad (4)$$

Onde:

T_{max} = torque máximo da aplicação (MPa)

Depois de extraído todos os torques da tabela de valores foram possíveis descobrir os torques máximos para cada carcaça, conforme mostra o Quadro 3.

Quadro 3 – Torques máximos por carcaça

Denominação	Torque (KNm)
Carcaça 315	2.56
Carcaça 355	3.96
Carcaça 400	6.74
Carcaça 450	8.00

Fonte: O autor (2018).

Essa rotina de cálculo é estruturada através de algumas equações. Onde, primeiramente, é encontrada a velocidade angular Equação (1). Após, é utilizado a Equação para encontrar o torque nominal Equação (2) e o torque máximo Equação (4).

Outras variáveis devem ser consideradas, como por exemplo, o raio onde se encontra a chaveta pela Equação (5):

$$Re = \frac{d1}{2} \quad (5)$$

Onde:

Re = raio onde se encontra a chaveta (mm)

d1 = diâmetro onde se encontra a chaveta (mm)

Logo em seguida, é utilizada a Equação (6) para encontrar a resistência ao escoamento da chaveta:

$$\tau_{1esc} = 0,577 \cdot Sych \quad (6)$$

Onde:

T1_{esc} = resistência ao escoamento da chaveta (MPa)

Sych = limite de escoamento da chaveta (MPa)

O fator da chaveta, recomendada pela ASME, varia de acordo com a distância entre o término do rasgo da chaveta e o encosto da polia (Lche).

Caso o valor do L_{che} menos o raio de concordância na seção for menor que 10% do valor d_1 , utiliza-se o coeficiente de concentração de tensão (K_{ch}) igual a 1.3, senão, utiliza-se 1.

Logo em seguida, deve ser calculada a força de cisalhamento pela Equação (7):

$$F_{cs} = \frac{T_{max} \cdot K_{ch}}{Re} \quad (7)$$

Onde:

F_{cs} = força de cisalhamento (N)

K_{ch} = coeficiente de concentração de tensão

Depois de encontrada a força de cisalhamento, é necessária calcular a tensão de cisalhamento na chaveta pela Equação (8):

$$\tau_1 = \frac{F_{cs}}{E_{ch} \cdot L_{ch}} \quad (8)$$

Onde:

T_1 = tensão de cisalhamento (Mpa)

E_{ch} = largura da chaveta (mm)

L_{ch} = comprimento da parte reta da chaveta (mm)

Outro passo no cálculo é fazer a correção da região de contato entre chaveta e eixo utilizando a equação do segundo grau, Equação (9), então, é escolhido o menor valor encontrado na Equação (10):

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad (9)$$

$$h^2 - 2Re \cdot h + \left(\frac{E_{ch}}{2}\right) = 0 \quad (10)$$

Onde:

h = Folga entre circunferência do eixo e rasgo da chaveta (mm)

Como resultado encontra-se duas variáveis, o que tiver menor valor é o que deve ser considerado. Essa variável é chamada de folga (h).

Outro passo é encontrar a área de resistência à compressão da chaveta na região do eixo pela Equação (11):

$$S_e = Lch (T1 - h - ch) \quad (11)$$

Onde:

S_e = Área de resistência à compressão da chaveta na região do eixo (mm²)

ch = Chanfro da chaveta (mm)

A área de resistência à compressão da chaveta na região do cubo, também, deve ser avaliada, conforme Equação (12):

$$S_c = Lch (Ach - T1 + h - ch) \quad (12)$$

Onde:

S_c = Área de resistência à compressão da chaveta na região do cubo do disco (mm²)

Ach = Altura da chaveta (mm)

Depois de encontradas as áreas iniciam-se os cálculos das tensões, primeiramente, calcula-se a tensão normal de compressão da chaveta no eixo, conforme Equação (13):

$$\sigma_e = \frac{F_{cs}}{S_e} \quad (13)$$

Onde:

σ_e = Tensão normal de compressão da chaveta no eixo

Em seguida, é encontrada a tensão normal de compressão da chaveta no cubo da catraca pela Equação (14):

$$\sigma_c = \frac{F_{cs}}{S_c} \quad (14)$$

Onde:

σ_c = Tensão normal de compressão da chaveta no cubo

Com esses dados inicia-se o cálculo do fator de segurança ao cisalhamento na chaveta, conforme Equação (15):

$$FS_{chc} = \frac{\tau_{1esc}}{\tau_1} \quad (15)$$

Onde:

FS_{chc} = Fator de segurança ao cisalhamento na chaveta

Para saber o fator de segurança ao cisalhamento na chaveta (considerando a menor área), primeiramente, é considerado a tensão normal de compressão da chaveta no eixo, conforme Equação (16):

$$FS_{ch} = \frac{S_{ye}}{\sigma_e} \quad (16)$$

Onde:

FS_{ch} = Fator de segurança ao esmagamento na chaveta

S_{ye} = Resistência ao escoamento do eixo na tração

E após é considerado a tensão normal de compressão da chaveta no cubo pela Equação (17):

$$FS_{ch} = \frac{S_{yc}}{\sigma_c} \quad (17)$$

Onde:

S_{yc} = Resistência ao escoamento do cubo na tração

Deve ser encontrado, também, o fator de segurança ao esmagamento no eixo, conforme Equação (18):

$$FS_e = \frac{S_{ye}}{\sigma_e} \quad (18)$$

Onde:

FS_e = Fator de segurança ao esmagamento no eixo

Por fim, é encontrado o fator de segurança ao esmagamento no cubo, através da Equação (19):

$$FS_c = \frac{S_{yc}}{\sigma_c} \quad (19)$$

Onde:

FS_c = Fator de segurança ao esmagamento no cubo

Espera-se como resultado que o menor coeficiente de segurança ao esmagamento do eixo e cubo não deveria ser menor do que 100% do critério de aceite da empresa. E que o menor coeficiente de segurança de tensões na chaveta não deveria ser maior que o menor dos coeficientes estáticos do eixo e do cubo e não menor do que 38% do critério de aceite. Assim, a chaveta funciona como uma proteção para os componentes mais caros (NORTON, 2013).

Conforme descrito no Quadro 4, foi levantada a quantidade de componentes criados no sistema e foi constatado que são o disco e chaveta os componentes que mais causam despadronização do conjunto catraca.

Quadro 4 – Quantidade de itens ativos no sistema por componente

Componentes	Quantidades
Chaveta	15
Disco da catraca	22
Mola	2
Pista da catraca	1

Fonte: O autor (2018).

Foram tabelados, também, os materiais de fabricação do disco da catraca, conforme mostra o Quadro 5, pois é outro fator importante para a padronização.

Quadro 5 – Material do disco da catraca

Ferro fundido FC-200
Ferro fundido GGG-40
Aço carbono SAE 1020
Aço carbono SAE 1045
Aço carbono SAE 4140

Fonte: O autor (2018).

Como pode ser visto no Quadro 6, outra característica pesquisada, também, foi o comprimento dos discos utilizados.

Quadro 6 – Comprimentos dos discos e chavetas

Comprimentos dos discos atuais (mm)
120
110
95
80
64

Fonte: O autor (2018).

O diâmetro do assento do disco é limitado pelo diâmetro do assento do rolamento e o diâmetro do assento do ventilador externo. Então, foram levantadas as dimensões internas dos discos relacionando com os dos rolamentos e dos ventiladores externo, conforme mostra o Quadro 7.

Quadro 7 – Relação entre os diâmetros interno dos componentes

Diâmetro do assento do rolamento(mm)	Diâmetro do assento do ventilador externo(mm)	Diâmetro do assento da catraca atual(mm)
110	85	100
100	85	90
95	85	90
90	75	80
80	65	75
75	65	70
70	65	70

Fonte: O autor (2018).

Existe, também, a limitação da distância entre o mancal traseiro e o encosto do ventilador externo. Portanto, para fazer o estudo do comprimento do disco e da chaveta foi necessário levar em consideração os dados levantados, conforme mostra o Quadro 8.

Quadro 8 – Distâncias mínimas por carcaça

Tamanho da carcaça	Distância mínima entre o mancal traseiro e o encosto do ventilador externo (mm)
315	160
355	180
400	180
450	190

Fonte: O autor (2018).

Como pode ser visto no Quadro 9, as chavetas possuíam variação na largura, altura e matéria-prima, dependendo do projeto. Então, foram elencadas as dimensões das mesmas.

Quadro 9 – Largura, altura e matéria-prima da chaveta

Dimensões das chavetas paralelas tipo C	Matéria-prima
18x11x100mm	SAE 1040/45
16x10x50mm	SAE 1040/45
16x10x45mm	SAE 1040/45
16x10x50mm	SAE 1040/45
16x10x100mm	SAE 1040/45
16x10x80mm	SAE 1040/45
3/4"x3/4"x80mm	SAE 4140
3/4"x3/4"x70mm	SAE 4140
3/4"x3/4"x70mm	SAE 1010/20
3/4"x3/4"x70mm	SAE 1040/45
1"x1"x100mm	SAE 1040/45

Fonte: O autor (2018).

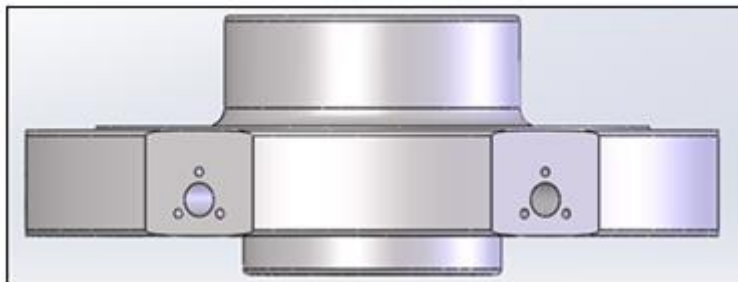
Para seguir com a padronização foi necessário realizar estudos de montagem dos motores com catraca, conforme o método descrito a seguir.

3.2.2 Método MESCRAI

O projeto teve início com o *Brainstorming* onde foram levantadas ideias que posteriormente seriam compiladas, através do Método MESCRAI, criando um esboço para cada questionamento no intuito de chegar a uma única proposta de melhoria do produto, sendo:

- a) Modifique: Para essa etapa sugeriu-se um esboço aumentando o comprimento do disco, na Figura 15 mostra como ficaria o disco aumentando o comprimento do cubo.

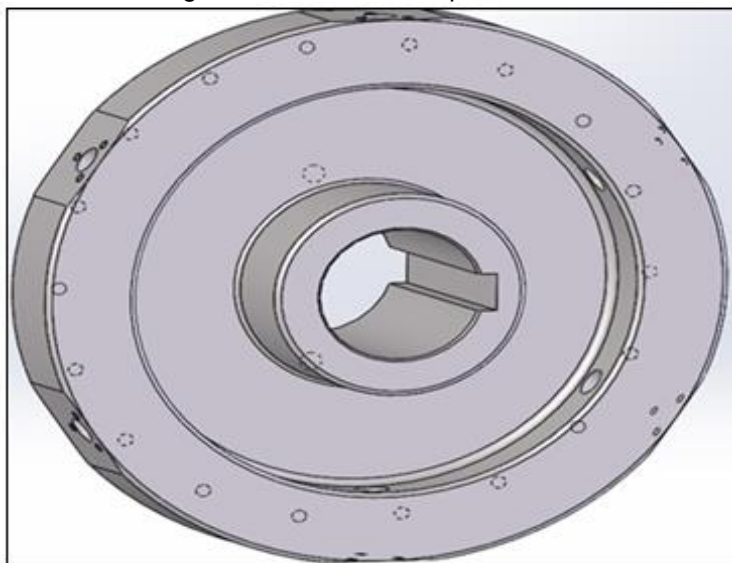
Figura 15 – Modifique



Fonte: O autor (2018).

- b) Elimine: Realizado um esboço utilizando apenas uma chaveta, eliminado a necessidade de dupla chaveta, conforme mostra a Figura 16.

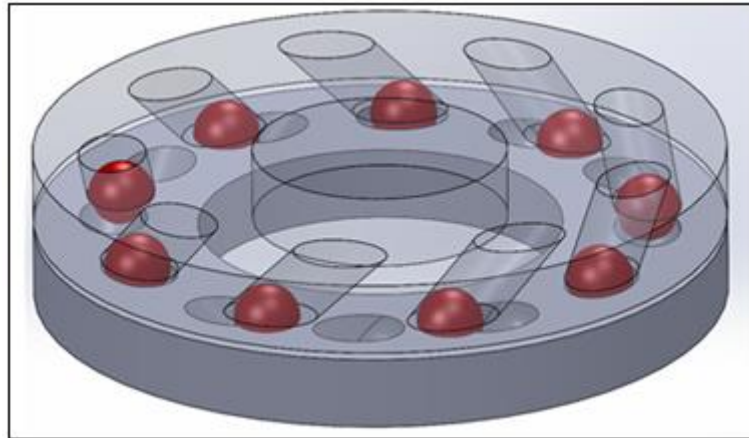
Figura 16 – Elimine a dupla chaveta



Fonte: O autor (2018).

- c) Substitua: Criado um esboço substituindo os pinos por esfera e a pista “dentada” por pista com rebaixo, como pode ser visto na Figura 17.

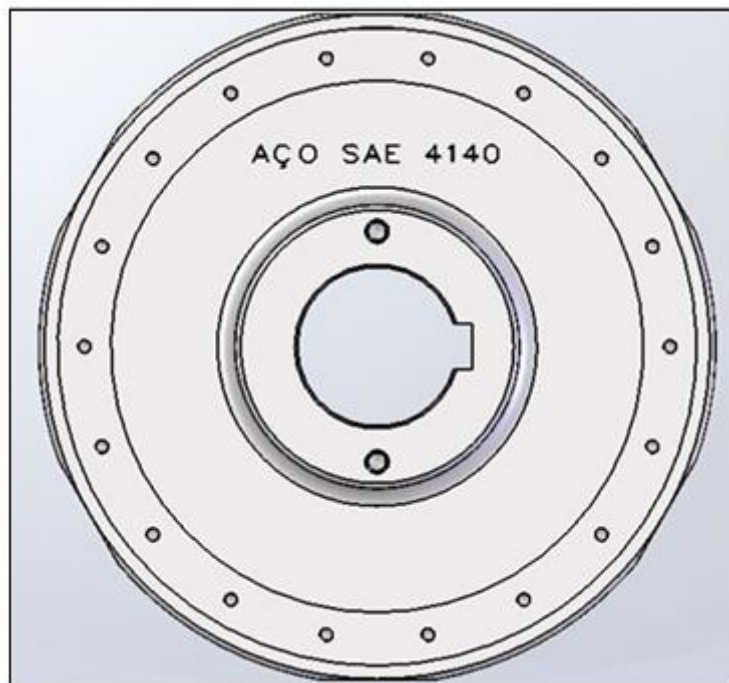
Figura 17 – Substitua



Fonte: O autor (2018).

- d) Combine: Combinados os materiais de diversas matérias-primas para uma única, a fim de reduzir variáveis de materiais. Na Figura 18 são mostrados os materiais combinados considerando apenas uma matéria-prima.

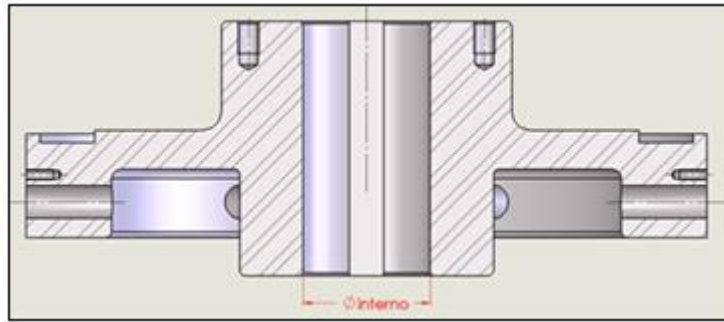
Figura 18 – Combine



Fonte: O autor (2018).

- e) Rearranje: Como pode ser visto na Figura 19, foram rearranjados as dimensões dos diâmetros para apenas os diâmetros internos de 70mm e 90mm.

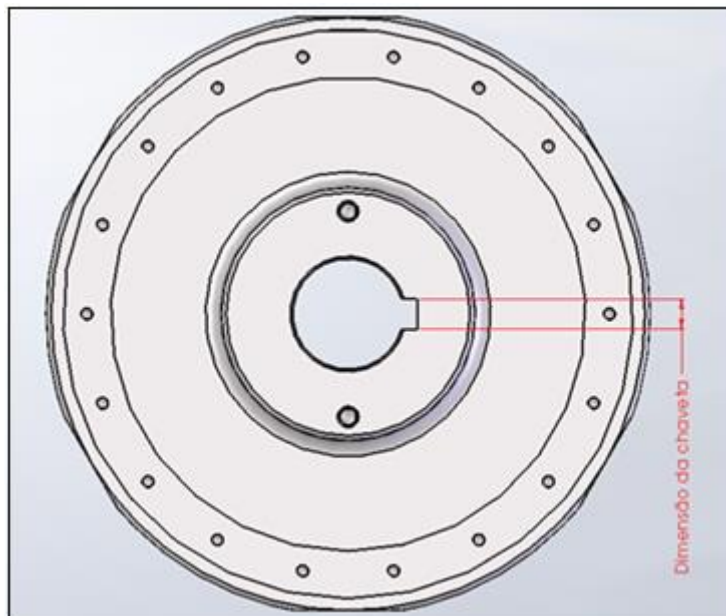
Figura 19 – Rearranje



Fonte: O autor (2018).

- f) Adapte: Como existiam várias dimensões de chavetas, foi elaborado o esboço para no máximo duas opções de chavetas, sendo de 25,4mm e 19,05mm, conforme mostra a Figura 20.

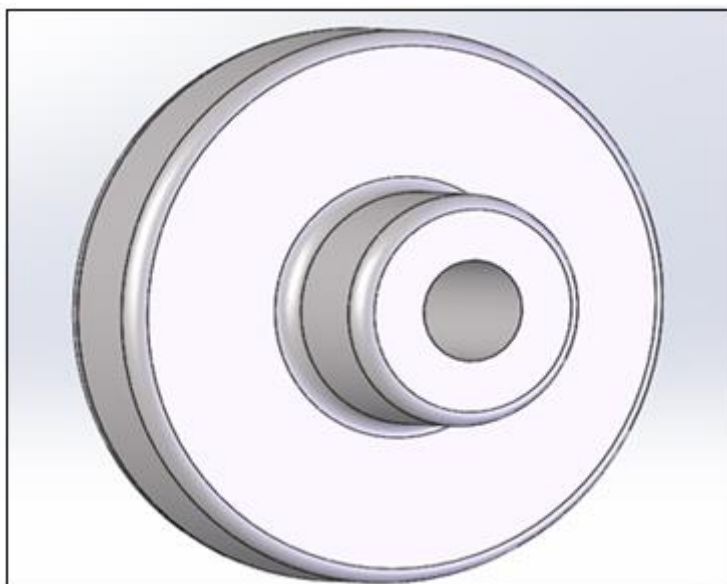
Figura 20 – Adapte



Fonte: O autor (2018).

- g) Inverta (Inovar): Ao invés de fazer uma peça usinada através de material bruto forjado, foi indicado para que o modelo bruto fosse fundido, como pode ser observado na Figura 21.

Figura 21 – Inove



Fonte: O autor (2018).

A seguir, será apresentado como foi realizada a compilação das ações do MESCRAI utilizando as ideias surgidas do *Brainstorming* e modelando elas através de questionamentos desse método.

3.3 PROJETO CONCEITUAL

Segundo Pahl et al.(2005), o projetista sempre deve avaliar a possibilidade de criar componentes sem ser especificamente para um projeto, ou seja, deve sempre disponibilizar a repetitividade do componente.

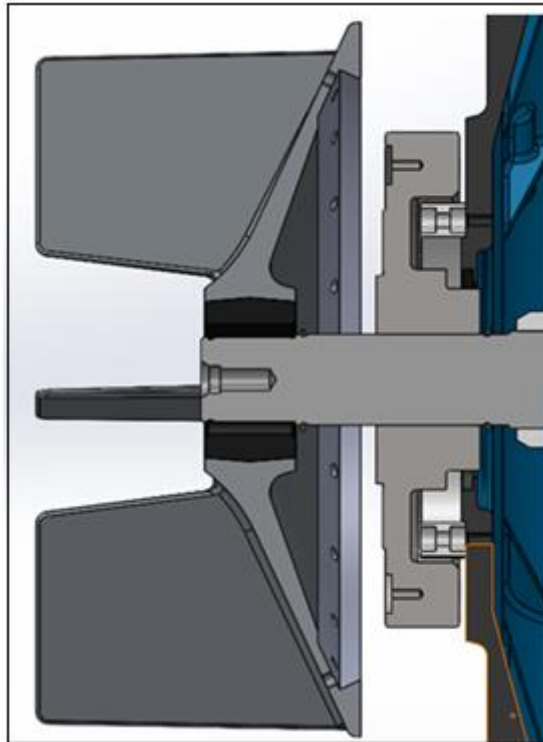
Seguindo essa lógica, foi iniciado o estudo com o auxílio da ferramenta MESCRAI no qual foram extraídas algumas ideias. Basicamente, foram selecionados os esboços que se enquadravam com o projeto já existente, porém, que necessitava de algumas melhorias. Os questionamentos escolhidos foram o Modifique que sugere um comprimento maior do cubo do disco; o Elimine que idealiza a retirada de uma das chavetas; o Combine que sugere a mescla dos materiais existentes para apenas um; o Rearranje que intercambia os diâmetros internos; o Adpte que indica adaptar as dimensões da chaveta para apenas duas variáveis de diâmetro interno e o Inverta que solicita a alteração do processo de fabricação do modelo fundido. A ação Substitua foi

desconsiderada porque iria mudar drasticamente o produto e poderia causar um aumento considerável dos custos.

A maior limitação existente era encontrar o comprimento ideal que atendesse tanto os critérios dos cálculos quanto o dimensional do motor, ou seja, sem afetar os demais componentes do motor. Obviamente, o eixo seria um componente que seria afetado pela alteração. Mesmo porque a utilização de duas chavetas no cubo causava problemas, também, para usinagem do eixo.

Como pode ser observado na Figura 22, inicialmente, foi colocado no estudo o disco de catraca com o comprimento de 80mm que era o mais utilizado e que, eventualmente, poderia se tornar a opção com o menor custo.

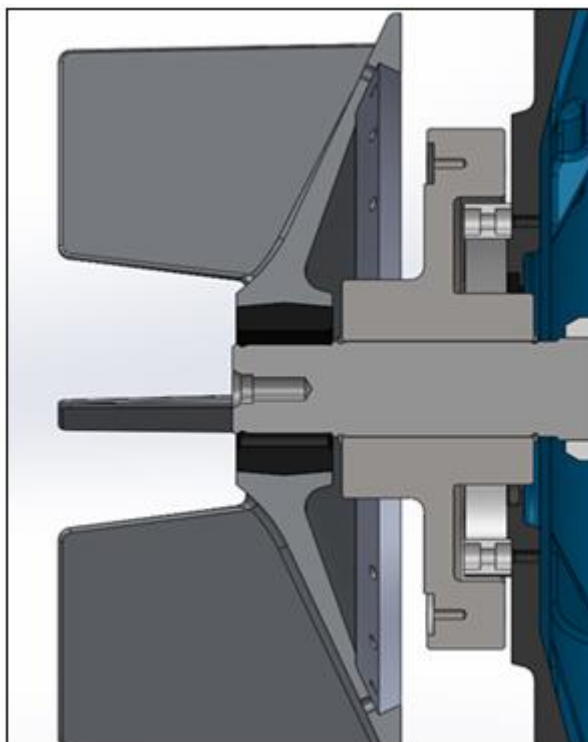
Figura 22 – Montagem com disco mais utilizado



Fonte: O autor (2018).

A segunda opção seria o disco com o comprimento máximo permitido entre todas as carcaças de motores, como mostra na

Figura 23 – Montagem com disco de comprimento máximo



Fonte: O autor (2018).

Após o estudo de montagem pelo software SolidWorks, foi possível definir que para a carcaça 315 o comprimento deve ser de 100mm, para as demais carcaças podem ser consideradas com 140mm de comprimento. Com isso, pode ser reduzidas de 5 para 3 variáveis de comprimento do disco que foram idealizada na ação “modifique” do método utilizado neste trabalho, como pode ser visto no Quadro 10.

Quadro 10 – Avaliação do comprimento do disco

Comprimento do disco atual (mm)	Comprimento do disco proposto (mm)
120	180/140
110	
95	
80	100
64	

Fonte: O autor (2018).

A partir da definição do comprimento do disco foi possível também determinar os comprimentos da chaveta para os cálculos. Com isso foram redefinidas as variáveis de comprimento da chaveta de 5 para 3, conforme mostra o Quadro 11.

Quadro 11 – Avaliação do comprimento da chaveta

Comprimento da chaveta atual(mm)	Comprimento da chaveta proposta (mm)
110	170/130
100	
80	
70	90
50	

Fonte: O autor (2018).

A largura e a altura da chaveta também foram redefinidas para os cálculos, como pode ser observado no Quadro 12, alterando as variáveis de 5 para 2. Conforme indicado pela ação “adaptar” do método MESCRAI, o critério de escolha foi as chavetas da norma AISI que possuem o formato quadrado.

Quadro 12 – Avaliação da largura e altura da chaveta

Largura e altura atual (mm)	Largura e altura proposto (mm)
16x10	19,05x19,05
19,05x19,05	
20x12	
25x14	25,4x25,4
25,4x25,4	

Fonte: O autor (2018).

Foi realizado, também, o estudo dos diâmetros do assento do disco, sendo avaliada a possibilidade de fazer escalonamentos entre os diâmetros maiores para reduzir a variação do diâmetro no assento, então, foi proposto pela ação “rearranjar” do MESCRAI os diâmetros do assento do disco da catraca. E depois de feito o estudo de montagens, podem ser realizados os cálculos com as dimensões do Quadro 13.

Quadro 13 – Avaliação do assento do disco

Diâmetro do assento do disco da catraca atual (mm)	Diâmetro do assento do disco da catraca proposto (mm)
100	90
90	
80	70
75	
70	

Fonte: O autor (2018).

A matéria prima utilizada no disco e na chaveta é determinante para o bom funcionamento da catraca. Mas, considerar para cada item do disco e chaveta uma matéria-prima causa a falta de padronização.

No anteprojeto foi proposto para todos os materiais dos discos de catraca fossem alterados para uma matéria-prima apenas, porém, os custos iriam aumentar consideravelmente. Portanto, foi considerado também outros materiais para suprir essa diferença nos custos.

Sendo, uma das alternativas para o material, a utilização do aço SAE 1045 pelo fato de ser uma matéria-prima intermediária entre o aço SAE 1020 e SAE 4140 utilizados nos projetos da empresa estudada, porém, com tratamento térmico de têmpera e revenido. O objetivo seria o aumento do limite de escoamento do material, mas após consulta com o departamento de compras, os custos desse tratamento não seria suficientemente viável comparando o preço do componente com os ganhos das propriedades estruturais.

Outra alternativa avaliada seria a utilização de ferro nodular GGG 40, como visto na fundamentação teórica, esse ferro é mais resistente e dúctil que os ferros fundidos cinzentos que possuem a resistência mecânica à tração de apenas 200 MPa. E também, o ferro nodular GGG 40, se aproxima das propriedades mecânicas do aço estrutural, como por exemplo, o limite de resistência à tração e o limite de escoamento que pode chegar a 320 MPa. Porém, a taxa de alongamento é inferior aos de aço SAE 4140 e para o disco de catraca esse valor é essencial, pelo fato de sofrer solicitações mecânicas de impacto na região do alojamento do pino catraca.

Então, ficaram definidos para os cálculos os materiais do disco e da chaveta, conforme mostra o Quadro 14, e que foram sugeridas pela ação “Inverta”.

Quadro 14 – Avaliação da matéria-prima do disco

Material do disco atual	Material do disco proposto	Tratamento térmico
Ferro fundido FC-200	Ferro fundido GGG-40	Recozimento
Ferro fundido GGG-40		
Aço carbono SAE 1020		
Aço carbono SAE 1045		
Aço carbono SAE 4140	Aço carbono SAE 4140 (fundido)	Temperado e revenido

Fonte: O autor (2018).

A chaveta, também, pode ter o material “invertido” para apenas uma matéria prima conforme pode ser visto no Quadro 15.

Quadro 15 – Avaliação da matéria-prima da chaveta

Material da chaveta atual	Material da chaveta proposto	Tratamento térmico
Aço carbono SAE 1020	Aço carbono SAE 1045	Temperado e revenido
Aço carbono SAE 1045		
Aço carbono SAE 4140		

Fonte: O autor (2018).

Depois de realizado o projeto detalhado foi possível simular os elementos finitos com as dimensões e as matérias-primas propostas.

3.4 VALIDAÇÃO DOS COMPONENTES

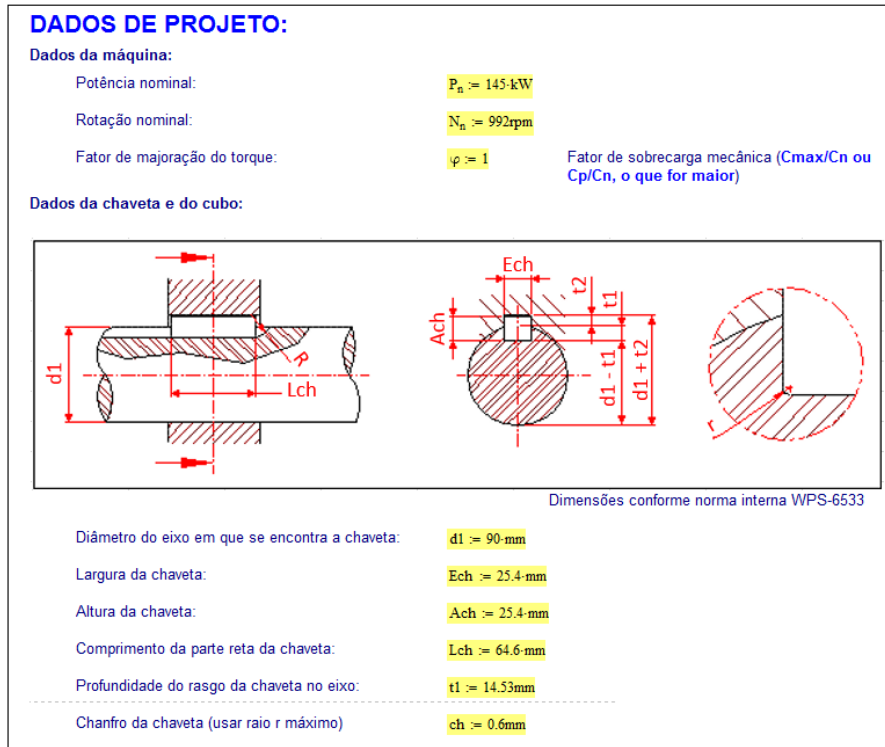
Segundo Norton (2013), existe dois modos de falha em chavetas: por cisalhamento e por esmagamento. A falha por cisalhamento ocorre quando a chaveta é cisalhada ao longo de sua largura na superfície de contato entre o eixo e o cubo. Uma falha por esmagamento ocorre por esmagamento em qualquer lado em compressão. Contudo, para ter uma maior precisão dos resultados é necessário realizar a análise de elementos finitos.

Por isso é estritamente necessário a validação dos componentes através dos cálculos de cisalhamento esmagamento da chaveta e do rasgo da chaveta com o auxílio de softwares Mathcad e ANSYS. Conforme é mostrado abaixo.

3.4.1 Rotina de cálculos

Para fazer o cálculo do cisalhamento e esmagamento na chaveta e no rasgo da chaveta no eixo é necessário ter em mãos algumas características e dimensões do motor, sendo eles: Potência nominal (P_n), rotação nominal (N_n), fator de majoração do torque (φ), diâmetro do eixo no assento do componente chavetado (d_1), largura da chaveta (E_{ch}), altura da chaveta (A_{ch}), comprimento da parte reta da chaveta (L_{ch}), profundidade do rasgo da chaveta no eixo (t_1), chanfro da chaveta, considerando maior raio (ch), como é mostrado na Figura 24.

Figura 24 – Dados básicos para o cálculo no Mathcad



Fonte: WEG (2018).

Além dos dados de entrada acima, é necessário saber as propriedades mecânicas dos materiais utilizados no eixo, disco da catraca e chaveta. Especificamente, os valores necessários se referem à: Resistência ao escoamento da chaveta na tração ($S_{y_{ch}}$), resistência ao escoamento do eixo na tração (S_{y_e}) e resistência ao escoamento do disco da catraca na tração (S_{y_c}), conforme Figura 25.

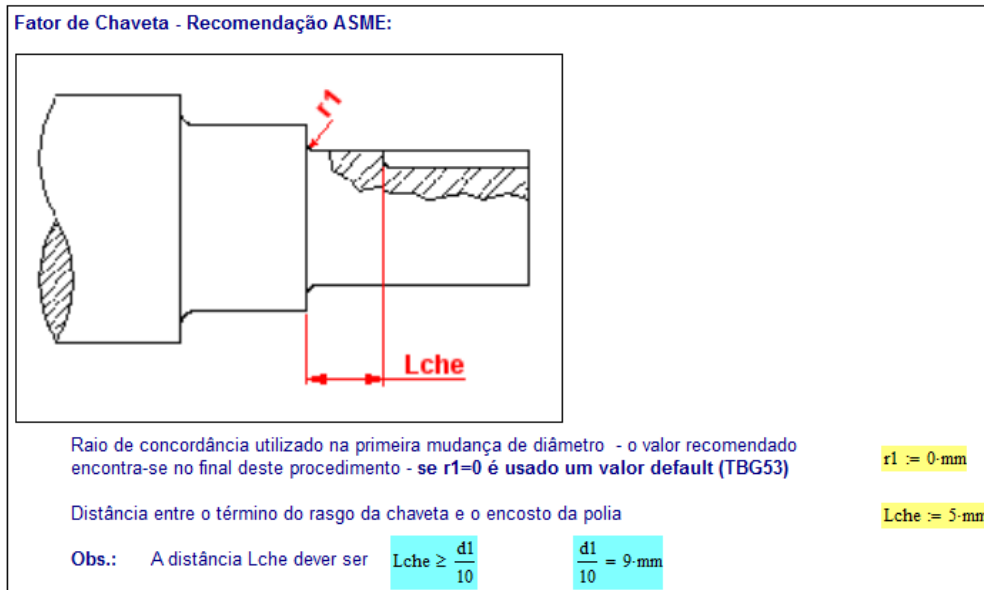
Figura 25 – Dados das propriedades dos materiais no Mathcad

Propriedades dos materiais:		AÇOS PARA CHAVETA	TENSÃO LIMITE DE ESCOAMENTO
Resistência ao escoamento da chaveta (tração):	$Sy_{ch} := 250\text{MPa}$	ABNT 1020	210 MPa
Resistência ao escoamento do cubo (tração):	$Sy_c := 200\text{MPa}$	ABNT 1045	290 MPa
Resistência ao escoamento do eixo (tração):		ABNT 1060	380 MPa
Mat := 7 Para o material do eixo, especificar o número do Mat de acordo com a tabela abaixo.			
MATERIAIS UTILIZADOS EM EIXOS DE MÁQUINAS ELÉTRICAS E RESPECTIVAS NORMAS:			
1- COPANT 1040 - TES0576/WMS2976/3360, TES0004/WMS2877/3152 - WMO 2- SAE 1045 - TES0004M/WMS2743 - WEN 3- SAE 1524/1524Si - TES-0796 / WMS-2846 / 3164 - WEN 4- AISI/SAE 4130 - TES-0183M / WMS-2764 / 2814 - WEN 5- COPANT 4140 - TES-0183 / WMS-2761 / 2955 - $\phi \leq 31.75\text{mm}$ - WMO 6- COPANT 4140 - TES-0183 / WMS-2761 / 2955 - $31.75\text{mm} < \phi \leq 100\text{mm}$ - WMO 7- COPANT 4140 - TES-0183 / WMS-2761 / 2955 - $\phi > 100\text{mm}$ - WMO 8- AISI/SAE 4140/4140H - TES-0795 / WMS-2791 / 2953, TES-0183M / WMS-2764 / 2814 - WEN 9- AISI/SAE 4340 - TES-0183m / WMS-2764 / 2814 - WEN 10- AISI 310 (inox) - http://www.matweb.com 11- AISI 314 (inox) - http://www.matweb.com 12- AISI 316F (inox) - http://www.matweb.com 13- AISI 316L (inox) - http://www.matweb.com 14- AISI 416 (inox) - http://www.matweb.com			
Propriedades normalizadas dos materiais para eixos:		Limite de Escoamento mínimo garantido	Resistência última mínima garantida
Aço :=	"1 - COPANT 1040 - WMO"	290	520
	"2- SAE 1045 - WEN"	290	520
	"3 - SAE 1524/1524Si - WEN"	325	510
	"4 - AISI/SAE 4130 - WEN"	332	560
	"5 - COPANT 4140, diâmetro \leq 31.75mm - WMO"	862	965
	"6 - COPANT 4140, 31.75mm<diâmetro \leq 100mm - WMO"	550	800
	"7 - COPANT 4140, diâmetro>100mm - WMO"	550	800
	"8 - AISI/SAE 4140/4140H - WEN"	650	790
	"9 - ABNT 4340H - WEN"	500	640
	"10 - AISI 310 (inox)"	275	655
	"11 - AISI 314 (inox)"	345	689
	"12 - AISI 316F (inox)"	240	565
	"13 - AISI 316L (inox)"	205	515
	"14 - AISI 416 (inox)"	275	515
		$Sy :=$ -MPa	$Su :=$ -MPa

Fonte: WEG (2018).

Outro dado importante é saber a distância entre término da chaveta e início do escalonamento ou entalhe e o raio de concordância, como pode ser visto na Figura 26.

Figura 26 – Dados do fator da chave no Mathcad



Fonte: WEG (2018).

Para confirmar as dimensões propostas para catraca foi necessário realizar os cálculos do esmagamento e cisalhamento da chave e posteriormente a validação através de simulações de elementos finitos que iriam determinar se os componentes iriam suportar as solicitações mecânicas, principalmente, quanto à flexão, torção e carga axial no assento da catraca. Também, foi avaliado o cisalhamento e esmagamento na chave e no rasgo da chave. As simulações foram realizadas em 7 etapas, uma para cada modelo, conforme mostra o Quadro 16 .

Quadro 16 – Dados para métodos analíticos e por elementos finitos

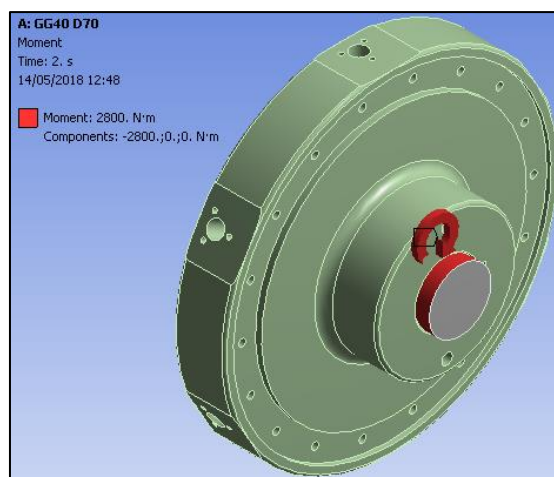
Modelo	Tamanho da carcaça do motor	Material do disco	Comprimento da chaveta (mm)	Menor diâmetro (mm)	Comprimento do disco (mm)	
1	315	F.GGG40	90	70	100	
2		AÇO 4140				
3	355/400/450	F.GGG40	127	70	140	
4		AÇO 4140				
5	355/400/450	F.GGG40		90	140	
6		AÇO 4140				
7	450	AÇO 4140		165.1	90	175.1

Fonte: O autor (2018).

3.4.2 Simulação por elementos finitos

A análise de elementos finitos considerou o torque aplicado ao eixo, mudando sua amplitude para cada configuração, conforme mostra a Figura 27, e então foi indicado um sentido do torque afim de saber como os componentes do conjunto iriam se comportar.

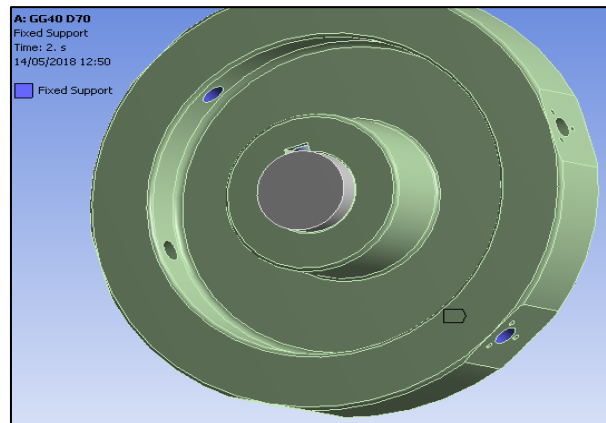
Figura 27 – Amplitude do torque



Fonte: O autor (2018).

O segundo passo foi utilizado o comando *Fixed Support*, onde é fixo algum ponto da montagem para a análise, na região de contato de dois pinos opostos. Isto é realizado devido à forma construtiva da catraca que condiciona que sempre dois pinos sejam acionados simultaneamente, como se observa na Figura 28.

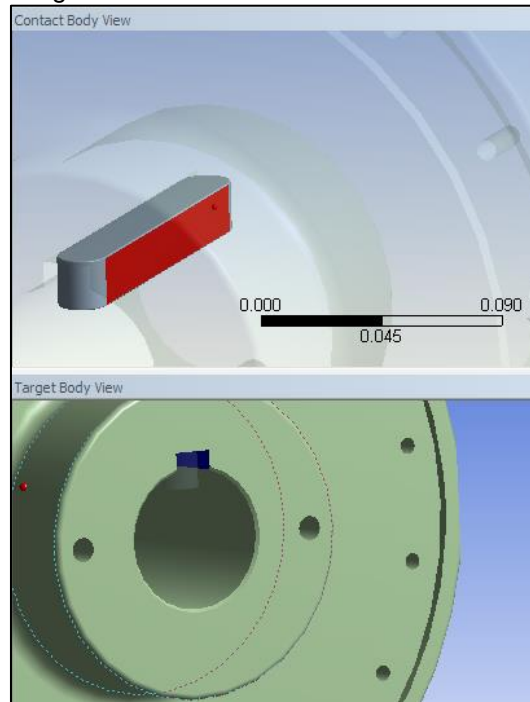
Figura 28 – Contato dos dois pinos



Fonte: O autor (2018).

Entre o disco e chaveta foi escolhido o tipo de contato *Rough*, ou seja, contato com atrito selecionando as faces que irão transmitir o esforço, como pode ser visto na Figura 29.

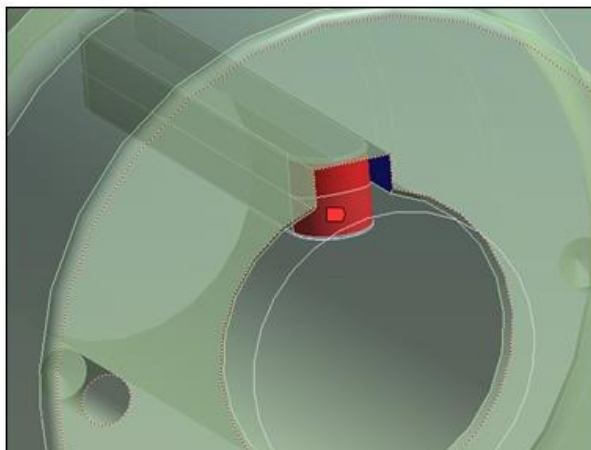
Figura 29 – Análise entre disco e chaveta



Fonte: O autor (2018).

E, também, utilizado o contato *Frictional* entre as faces que inicialmente não terão contato transmitindo o esforço, mas que se houver deformação, podem entrar em contato. Esta região refere-se aos dois raios da chaveta (ambos os lados), conforme mostra na Figura 30.

Figura 30 – Análise entre os raios da chaveta e o cubo

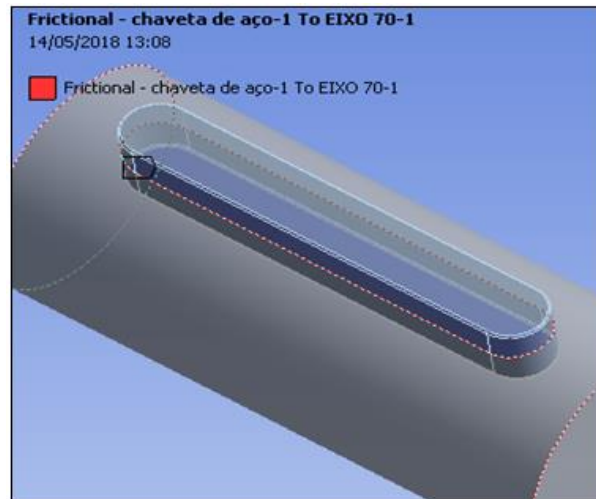


Fonte: O autor (2018).

Assim como feita a análise entre os discos e chavetas, também, foi realizada as simulações entre eixo e chaveta. Como mostra a Figura 31,

escolheu-se o contato *Frictional* entre a base da chaveta e fundo do assento da chaveta no eixo.

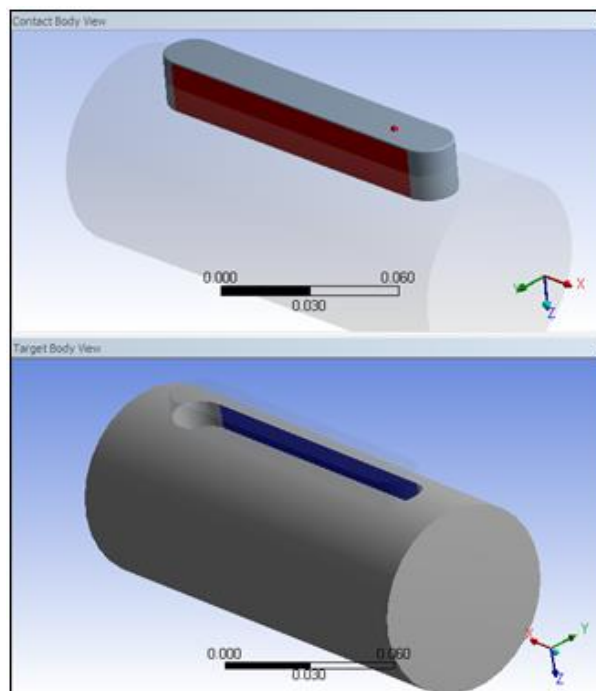
Figura 31 – Análise entre eixo e chaveta



Fonte: O autor (2018).

E selecionado o contato *Rough* entre as faces que terão contato transmitindo o esforço. Conforme mostra a Figura 32.

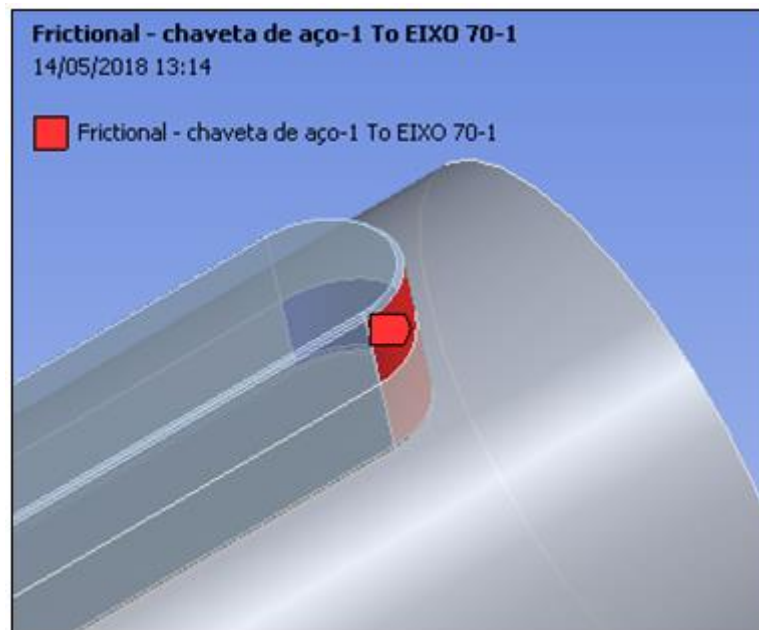
Figura 32 – Análise entre as face de eixo e chaveta



Fonte: O autor (2018).

Novamente foi utilizado o contato *Frictional*, que é o contato deslizante, entre as faces que inicialmente não terão contato transmitindo o esforço, mas que se houver deformação, podem entrar em contato. Esta região refere-se aos dois raios da chaveta (ambos os lados) em relação ao eixo, conforme pode ser visto na Figura 33.

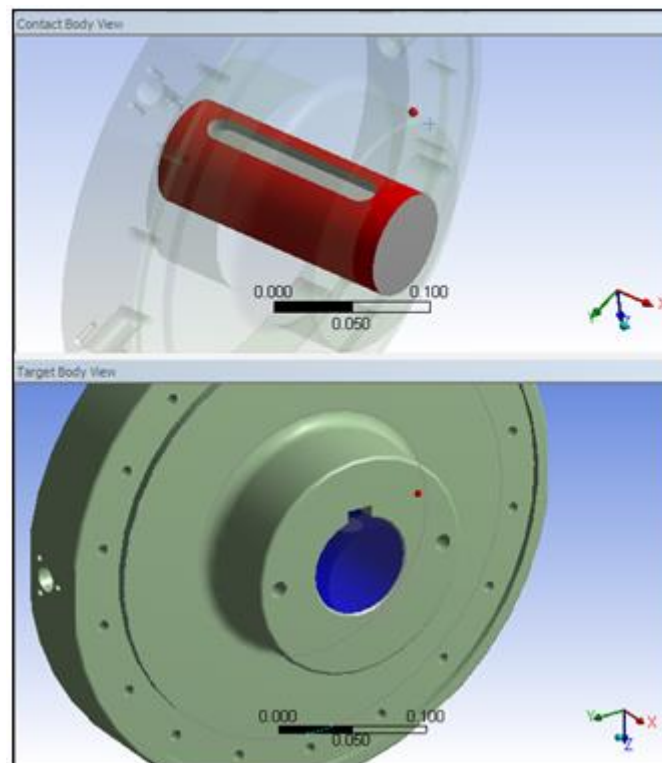
Figura 33 – Análise entre os raios da chaveta e o eixo



Fonte: O autor (2018).

Por fim, foi analisado as superfícies cilíndricas do eixo e do cubo do disco, através do contato “Frictional”, como pode ser observado na Figura 34.

Figura 34 – Análise entre as superfícies do eixo e do cubo



Fonte: O autor (2018).

Foi realizado pouco refinamento de malha, utilizando os parâmetros *default* do programa. Os refinamentos realizados foram:

- a) Refinamento da malha de contato nas regiões em que o contato está classificado como *Rough*, utilizando tamanho médio de elemento igual a 2.5 mm para atingir um bom desempenho do programa sem deixar impreciso a simulação.
- b) Refinamento dos elementos presentes em toda a chaveta, com tamanho médio de elemento igual a 3.0 mm, assim obtém-se a qualidade esperada da análise.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a realização de cálculos foi possível chegar nos torques máximos e nos coeficientes de segurança do disco, chaveta e eixo. Os resultados dos coeficientes de segurança foram satisfatórios por atender os critérios de aceitação ($K \Rightarrow 38\%$ para chaveta e $K \Rightarrow 100\%$ para o disco e o eixo), conforme pode ser visto na Tabela 1.

Tabela 1 – Resultados do método analítico

Modelo	Torque máximo	Kmín disco (%)	Kmín chaveta (%)	Kmín eixo (%)
1	1.8 kNm	100	90	168
2	3.0 kNm	105	52.5	100
3	2.8 kNm	100	87.5	168
4	4.7 kNm	105	52.5	100
5	3.6 kNm	100	87.5	168
6	6.0 kNm	105	52.5	100
7	8.0kNm	105	52.5	100

Fonte: O autor (2018).

Elaborado, também, a análise por elementos finitos no intuito de validar os componentes, já aprovados pelos cálculos.

Assim como no método analítico, um dos resultados analisados na simulação é o coeficiente de segurança calculado pela tensão limite de escoamento do material, para cada componente da análise. Como resultado obteve-se valores do coeficiente mínimo de segurança inferior aos encontrados no método analítico, como observa-se na Tabela 2.

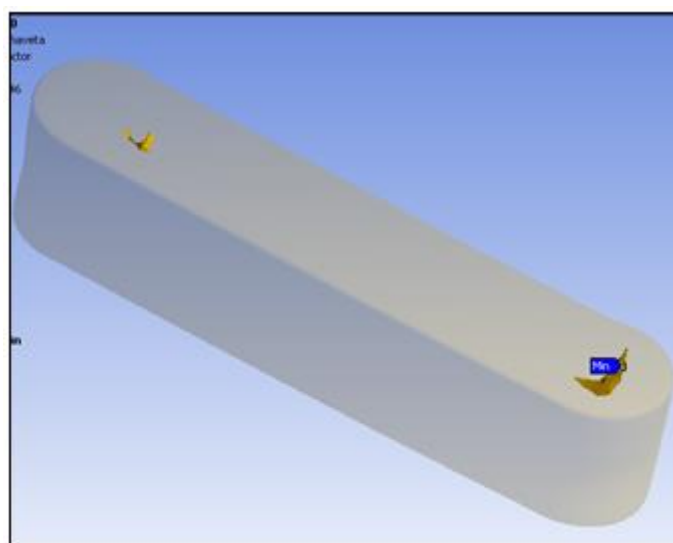
Tabela 2 – Resultados da simulação de elementos finitos

Modelo	Torque máximo calculado	Kmín disco (%)	Kmín chaveta (%)	Kmín eixo (%)
1	1.8 kNm	50	48	58
2	3.0 kNm	63	38	60
3	2.8 kNm	65	63	65
4	4.7 kNm	68	38	40
5	3.6 kNm	53	60	63
6	6.0 kNm	53	35	40
7	8.0 kNm	50	35	40

Fonte: O autor (2018).

Ao analisar cada caso, verifica-se que a região com coeficiente de segurança inferior ao critério ($K \Rightarrow 38\%$ para chaveta e $K \Rightarrow 100\%$ para o disco e o eixo) é pequena, o que pode ser justificado devido a alguma concentração de tensão ao formato dos elementos ou a não utilização de propriedades não lineares dos materiais, a qual não considera uma possível deformação plástica do componente em uma determinada região. A Figura 35 mostra como ficou a simulação.

Figura 35 – Coeficientes menores que o permitido em pequenas regiões



Fonte: O autor (2018).

Após realizada a validação dos componentes, foi possível determinar os componentes padrões. Sendo que antes da padronização eram utilizados 22 itens de discos de catraca e com a padronização serão utilizados apenas 7 itens, gerando uma redução de 68,18% de itens no sistema. Os modelos estão demonstrados no Quadro 17.

Quadro 17 – Modelos dos discos de catraca

Modelo	Descrição
1	Disco catraca 381x70x100 SAE 4140
2	Disco catraca 381x90x175,1 SAE 4140
3	Disco catraca 381x70x140 SAE 4140
4	Disco catraca 381x70x100 GGG 40
5	Disco catraca 381x70x140 GGG 40
6	Disco catraca 381x90x140 SAE 4140
7	Disco catraca 381x90x140 GGG 40

Fonte: O autor (2018).

Para as chavetas, foi proposta a utilização de itens da norma ANSI que possuem o formato quadrado, e assim uma resistência mecânica maior por causa das dimensões, diferentemente das chavetas ISO que são retangulares, como pode ser visto no quadro Quadro 9. Por esse motivo foi possível reduzir de 15 itens para apenas 4. Totalizando uma redução de 73,33% dos itens de chavetas, conforme detalhado no Quadro 18.

Quadro 18 – Chavetas padronizadas

Dimensões das chavetas paralelas tipo C	Matéria-prima chaveta
3/4"x3/4"x127mm	SAE 1040/45
1"x1"x127mm	SAE 1040/45
3/4"x3/4"x90mm	SAE 1040/45
1"x1"x165,1mm	SAE 1040/45

Fonte: O autor (2018).

Antes da padronização, ocorriam os problemas na usinagem de eixos e do disco da catraca, pois as tolerâncias de paralelismo e de simetria eram

difíceis de serem atendidas quando era solicitada dupla chave na catraca. As dificuldades quanto à tolerância eram os afastamentos, pois a somatória desses valores prejudicava a montagem dos componentes e quanto mais justo os valores do afastamento mais caro se torna o processo.

As tolerâncias de paralelismo e simetria não poderiam ser muito abertas para não causar a folga, pois a folga pode provocar vibração no motor e, posteriormente, a fadiga poderia provocar a ruptura do material.

Na fábrica montadora, também, havia problemas para a montagem desses componentes, pois mesmo quando o disco da catraca e o eixo estavam dentro da tolerância de fabricação, a somatória das tolerâncias de paralelismo e simetria não permitia assento do disco da catraca no eixo.

Além disso, com a padronização dos componentes, os custos de mão-de-obra da engenharia, vendas e suprimentos foram reduzidos. Pois, será possível configurar o motor com catraca padrão sem a necessidade de projetá-la ou ter que indicá-la, manualmente, na lista técnica do motor.

E, principalmente, o fato de garantir o bom desempenho do sistema de catraca antirreversão na aplicação do cliente. Pois, todos os componentes foram dimensionados para atender a todos os critérios de projeto da tabela de valores.

Após feito a cotação com os fornecedores, foi constatado que os custos dos componentes novos causaram um aumento 8,2% em relação aos antigos. Esse aumento foi causado pelo fato dos componentes antigos serem, em sua maioria, em ferro fundido cinzento, ou seja, mais econômico e pelo fato dos critérios de aceitação dos fatores de segurança terem sido alterados, deixando esses componentes em ferro fundido impróprios para a aplicação e obrigando a utilização de materiais mais resistentes e com custos mais elevados.

5 CONCLUSÕES

Neste trabalho, a utilização do método MESCRAI para o estudo de melhoria do sistema de catraca antirreversão mostrou-se eficiente. Pois, foi possível reduzir a quantidade de discos de catraca de 22 para 7 itens, totalizando uma redução de 68,18% de itens no sistema e, também, a padronização da chaveta que passou de 15 itens para apenas 4, reduzindo 73,33% de itens listados.

Foi solicitado aos fornecedores que fizessem a cotação dos novos modelos de disco de catraca e foi observado que os custos dos componentes padronizados geraram aumento de 8,2% comparando com o modelo antigo. Então, pode ser concluído que o aumento dos custos foi causado pelo fato de que a maioria, dos fornecimentos dos discos de catraca, era feito de ferro fundido cinzento, ou seja, mais econômico. Mas como os critérios de aceitação dos fatores de segurança foram alterados, os componentes em ferro fundido cinzentos ficaram inviáveis. Obrigando assim, a utilização de materiais mais resistentes e com custos mais elevados.

As dificuldades na montagem, devido as tolerâncias entre os rasgos da chaveta do cubo e eixo, foram eliminadas pelo fato de ter sido possível a utilização de apenas uma unidade de chaveta.

Por fim, foi realizada a validação dos componentes através de cálculo de tensão de esmagamento e cisalhamento na chaveta e no rasgo da chaveta e as simulações de elementos finitos, foi comprovado que os componentes atendem aos critérios de projeto e assim garantem o bom desempenho do sistema de catraca antirreversão na aplicação do cliente.

Como sugestão para trabalhos futuros, pode-se sugerir um estudo para uma possível melhoria ou otimização dos demais componentes do sistema de catraca antirreversão tais como, pista da catraca, pinos, molas e elementos de fixação.

REFERÊNCIAS

ASKELAND, Donald R.; PHULÉ, Pradeep P. **Ciencia e engenharia dos materiais**. São Paulo: CENGAGE Learning, 2008.

BACK, N. et al. **Projeto integrado de produtos: planejamentos, concepção e modelagem**. Barueri: Manole, 2008.

BAXTER, M. **Projeto de produto: guia prático para o design de novos produtos**. São Paulo: Blucher, 2000.

BUDYNAS, G. Richard; Nisbett J. Keith. **Elementos de máquinas de Shigley**. Porto Alegre, AMGH Editora Ltda, 2011.

CALLISTER, JR.; W.D. **Ciencia e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. 8ª Ed., LTC, Rio de Janeiro, 2012.

CARDOSO, Eduardo et al. **O desenho no processo de geração de concepções de projeto**. Blucher Design Proceedings. Gramado, Rs, p. 1-12. jul. 2014. Disponível em: <<http://pdf.blucher.com.br.s3-sa-east-1.amazonaws.com/designproceedings/11ped/00017.pdf>>. Acesso em: 15 maio 2018.

CBF. **CBF rolamentos**. Disponível em: <http://www.cbfcorp.com.br/novo/downloads/vulkan/Contra-Recuo-de-alta.pdf>, acessado em março de 2018.

CHIAVERINI, Vicente. **Tecnologia Mecânica- Processos de fabricação e tratamento Volume III**. 2ª Ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 1986.

FILHO, Guilherme Filippo. **Motor de indução**. São Paulo: Editora Érica Ltda, 2013.

MELO, Adriana; Abelheira R. **Design Tinking & thinking Design**. São Paulo: Novatec editora, 2015.

MELO, Eliana Virgínia Vieira de. **Aplicação de Técnicas de Exploração do Espaço Criativo ao Design de Jogos Digitais**. 2007. 106 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Centro de Artes e Comunicação, Departamento de Design, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/bitstream/handle/123456789/3397/arquivo4365_1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 02 abr. 2018.

MOREIRA, Adson Bezerra. **Análise da operação de sistemas de ventilação industrial visando à eficiência energética**. 2006. 141 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2006. Disponível em: <[http://www.lamotriz.ufc.br/Artigos/dissertacao\[2\].pdf](http://www.lamotriz.ufc.br/Artigos/dissertacao[2].pdf)>. Acesso em: 17 mar. 2018.

NBR 6177, **Transportadores contínuos, Transportadores de Correia e Terminologia**. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Rio de Janeiro, 1998.

NEWEEL, James. **Fundamentos da moderna engenharia e ciências dos materiais**. Rio de Janeiro: LTC, 2010.

NIEMANN, G. **Elementos de máquinas – Volume III**. São Paulo: Edgard Blücher, 1971.

NORTON, R. L. **Projeto de Máquinas: uma abordagem integrada**. 2ª ed. São Paulo, Editora Bookman, 2013

PAHL, G.; BEITZ, W.; FELDHUSEN, J.; GROTE, K. H. **Projeto na Engenharia: Fundamentos do Desenvolvimento Eficaz de Produtos Métodos e Aplicações**. 6ª ed. São Paulo: Ed. Blucher, 2005.

RINGSPANN. **Ringspann Site.** Disponível em: <https://www.ringspann.com/en/files/P84-E-140401-1491378150-238.pdf>, acessado em março de 2018.

SILVA, André Luiz V. da Costa e.; MEI, Paulo R. **Aços e ligas especiais.** 3rd ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2010.

TOLEDO, José Carlos de. GESTÃO DA MUDANÇA DA QUALIDADE DE PRODUTO. **Gestão & Produção**, São Carlos, v. 2, n. 1, p.104-124, ago. 1994. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/gp/v1n2/a01v1n2.pdf>>. Acesso em: 10 maio 2018.

VLACK, Van; HALL, Lawrence. **Princípios de ciência dos materiais.** São Paulo: Editora Blucher, 1970.

VULKAN. **Vulkan Site.** Disponível em: <http://www.vulkan.com/pt-br/drivetech/produtos/contra-recuos-e-rodas-livres/contra-recuos-de-alta-velocidade>, acessado em março de 2018.

WEG. **Departamento de pesquisa e inovação tecnológica.** Jaraguá do Sul, 2018.