

Data 30/10/3/2015
Recebido por Gilberto



IPL

escola superior de tecnologia e gestão
instituto politécnico de leiria

Projecto

Mestrado em Engenharia Mecânica Produção Industrial

***Reengenharia do sistema de corte de uma serra de
dreno***

Samuel Cardoso

Dissertação de Mestrado realizada sob a orientação do Doutor Joel Vasco, Professores da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria e co-orientação do Doutor António Pereira, Professor da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria.

Leiria, Março de 2015

Entregou 6 exemplares

*“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas
lutei para que o melhor fosse feito...”*

Marthin Luther King

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Agradecimentos

É com enorme satisfação que escrevo estas palavras de gratidão e reconhecimento, não porque faz parte, mas em humildade reconheço a importância de todos os que me rodeiam e me têm acompanhado ao longo da vida.

Ao Professor Doutor Joel Vasco e ao Professor Doutor Mário Pereira, os meus orientadores, pela motivação que sempre demonstraram no desenvolvimento deste trabalho.

À Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Leiria, instituição na qual realizei a minha formação superior, disponibilizando todos os meios necessários, para que neste momento, mais um patamar possa alcançar.

À Periplast por me possibilitar desenvolver este trabalho baseado num equipamento da empresa. Aos meus colegas da Periplast, ao Helder Correia e ao Eng. Marco Nunes pelas informações sobre o equipamento anterior e sugestões de melhoria. O meu especial agradecimento ao Sérgio Dias pela disponibilidade e acompanhamento na procura de soluções construtivas eficientes.

À Poço e ao Eng. Paulo Simões pelo apoio e motivação no desenvolvimento do projeto.

À Tubofuro, Politejo e Fersil por terem possibilitado a visita às respetivas empresas e pela possibilidade de analisar equipamentos similares e o seu funcionamento.

À Frezite, ao Sr. António Paulo e ao Sr. António Rodrigues pela disponibilidade demonstrada no decorrer do projeto no apoio à seleção de ferramentas.

À SEW e ao Eng. Tiago Barroso pelo apoio e contributo no desenvolvimento do projeto no que concerne à seleção dos atuadores necessários para a operação do equipamento.

À Teclena e ao Eng. José Francisco pelo apoio e informações uteis na elaboração do projeto, em particular, para a seleção dos atuadores hidráulicos.

Os meus sinceros agradecimentos à minha família por me apoiar, motivar, acarinhar, amar e muito mais... à Isabel minha esposa, à Samanta e Margarida minhas filhas e ao Levi Samuel ainda na barriga da mãe quero dizer-vos o quão são importantes para mim e o amor que tenho por vós é imensurável.

Aos meus pais, Vitor e Isabel Cardoso.

A Deus, por ser fiel

A todos o meu muito obrigado!

Resumo

O principal objetivo do trabalho desenvolvido é o de identificar, resolver e/ou otimizar alguns dos problemas existentes num equipamento industrial de corte de tubo corrugado, adiante designado como serra de dreno.

É dada uma especial atenção à criação de soluções eficientes e práticas para que o equipamento se torne apto a realizar todas as funções expectáveis a uma serra de dreno.

Numa fase inicial foram identificados os vários problemas no equipamento existente, dos quais se evidenciam o aspeto estrutural pesado e ineficiente, o funcionamento ineficaz, a manutenção e troca de ferramentas difícil e morosa, assim como o ruído emitido pelo equipamento, que requer uma redução para cumprimento das regulamentações aplicáveis.

Os principais objetivos, deste projeto, passam por encontrar soluções eficazes para os problemas identificados, foram consideradas no processo de reengenharia o aspeto da segurança, o cumprir das exigências normativas para posterior marcação CE, a redução de tempos de funcionamento, a redução de custos, a escolha de materiais e componentes de qualidade, a futura manutenção, entre outras.

Para atingir os objetivos que este trabalho se propõe alcançar, foram utilizadas algumas metodologias importantes, tais como, o SMED (*Single Minute Exchange of Die*), o DFM (*Design for manufacturing*), DFA (*Design for Assembly*), DFMA (*Design for Manufacture and Assembly*), DFSM (*Design for Serviceability and Maintainability*), DFX (*Design for Excellence*) e o MTM (*Methods Time Measurement*). Estas metodologias foram a base para a elaboração funcional de um novo sistema de corte para a serra de dreno, com o objetivo de reduzir tempos de montagem, manutenção e troca de ferramentas, assim como a redução de custos de fabrico e de manutenção.

Os resultados finais obtidos, com a implementação das alterações propostas, embora em fase de projeto, revelam potenciais ganhos significativos no fabrico do equipamento, facilidade de montagem, fiabilidade do produto, redução nos tempos de manutenção e como resultante a consequente redução de custos.

Palavras-chave: projeto, serra de dreno, corte, SMED, DFM, DFSM, DFX, MTM.

Abstract

The main goal of this work is to identify, solve and/or improve some existing problems in an industrial equipment that cuts corrugated pipes, known as perforator for corrugated pipes.

Special attention is given to the creation of an efficient and user friendly solution so that the equipment could make everything that was expected from a perforator for corrugated pipes.

Initially, there were several problems with the existing equipment such as the structural aspect which was quite heavy and inefficient, ineffective operation, maintenance and exchange of tools difficult and slow so as the noise made by the equipment that must be reduced to comply with the applicable regulations.

Security aspects, meeting the normative demands to achieve the CE brand label, reduction of working times and costs, quality materials and components, future maintenance, among other aspects were important while reengineering this machine.

To achieve these goals, some important methodologies were considered, such as SMED (Single Minute Exchange of Die), DFM (Design for manufacturing), DFA (Design for Assembly), DFMA (Design for Manufacture and Assembly), DFSM (Design for Serviceability and Maintainability), DFX (Design for Excellence) and MTM (Methods Time Measurement). These methodologies were the basis for a functional and new cut system for the perforator of corrugated pipes, in order to reduce the time to assemble, maintenance and exchange the tools, as well as reduction of manufacture and maintenance costs.

The final results obtained from the implementation of the recommended modifications, still within the project phase, reveal potential gains in the equipment manufacture, easy to assemble, reliability and quality of the product, faster tool change, maintenance and reduction of costs in the several stages.

Key-Words: project, drain saw, cut, SMED, DFM, DFSM, DFX, MTM.

Índice de Figuras

Figura 1 - Vista em corte de uma extrusora.....	6
Figura 2 - Cabeça de extrusão	7
Figura 3 - Corrugador	7
Figura 4 - Tubo corrugado	8
Figura 5 - Esquema da polimerização do propeno em propileno	9
Figura 6 - Secção do tubo corrugado	10
Figura 7 - Vedação com perfeita estanquicidade.....	10
Figura 8 – Distribuição dos rasgos no tubo corrugado	11
Figura 9 – Princípio de funcionamento e exemplo do sistema de drenagem.....	11
Figura 10 - Perfurador Corma	12
Figura 11 - Serra de dreno Primac.....	12
Figura 12 - Layout da unidade de corte	13
Figura 13 - Relação de tempos de troca de ferramenta e custos	15
Figura 14 - Comparação dos métodos de montagem.....	19
Figura 15 – Etapas da aplicação do DFMA	20
Figura 16 - Importância do DFMA	21
Figura 17 - Fase do produto <i>versus</i> custos/flexibilidade.....	22
Figura 18 - DFX - <i>Design for excellence</i>	24
Figura 19 - Movimentos básicos do MTM.....	25
Figura 20 – Procedimento de certificação de conformidade.....	28
Figura 21 – Visualização da serra de dreno Periplast.....	29
Figura 22 - Serra de Dreno - Vista explodida.....	30

Figura 23 - Detalhe do movimento de corte	32
Figura 24 – Movimento dos discos de corte na execução dos rasgos	32
Figura 25 - Montagem de um braço de discos de corte.....	34
Figura 26 - Composição de um braço de discos de corte.....	35
Figura 27 - Troca de discos de corte.....	36
Figura 28 - Resultado do inquérito dos aspetos funcionais	39
Figura 29 - Influência do projeto nos custos do produto	41
Figura 30 - Etapas a cumprir até ao equipamento otimizado.....	42
Figura 31 – Definição do sistema para simulação	44
Figura 32 – Resultados da simulação com chapa de 10mm.....	45
Figura 33 - Movimento dos braços dos discos de corte na serra antiga.....	46
Figura 34 – Comparação do número de braços de corte na serra de dreno e solução proposta....	47
Figura 35 – Configuração e identificação dos componentes da serra para fazer 6, 4 e 2 rasgos	48
Figura 36 - Troca dos discos de corte	48
Figura 37 - Dimensões da bossa	50
Figura 38 - Cálculo do diâmetro do disco de corte	50
Figura 39 - Localização e alimentação dos motores e servomotor	52
Figura 40 - Transmissão de rotação para veio dos discos de corte.....	53
Figura 41 – Disposição dos discos de corte para tubo de $\varnothing 200$ e $\varnothing 500$	56
Figura 42 - Dimensões do carreto de servomotor, prato rotativo e tubos a cortar	56
Figura 43 - Atuação do servomotor.....	58
Figura 44 - Disposição das forças de corte	59
Figura 45- Seção dos cilindros	60
Figura 46 - Esquema hidráulico	62
Figura 47 - Correias Poly-V [®] com maior área de contato	62
Figura 48 - Veio dos discos de corte – posição dos rolamentos	63
Figura 49 - Aplicação de isolamento no novo modelo.....	64

Figura 50 – Otimização prevista	67
Figura 51 - Antigo sistema de movimento dos braços de corte e troca de ferramentas	68
Figura 52 – Solução otimizada da serra de dreno	69
Figura 53 - Comparação da produção de tubos de $\varnothing 200$ e $\varnothing 500$	71
Figura 54 - Comparação dos tempos de troca de ferramentas	74

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Fluxograma de projeto proposto por Asimow (1968).....	5
Tabela 2 - Normas para tubo corrugado	9
Tabela 3 - Características físicas do polipropileno	10
Tabela 4 – Classificação dos movimentos de trabalho.....	24
Tabela 5 – Divisão das famílias MTM	25
Tabela 6 - Unidades de conversão de tempo.....	26
Tabela 7 - Problemas <i>versus</i> soluções – Aspeto estrutural.....	31
Tabela 8 - Problemas <i>versus</i> soluções - Funcionamento.....	33
Tabela 9 - Problemas <i>versus</i> soluções – Manutibilidade e fiabilidade.....	35
Tabela 10 - Problemas <i>versus</i> soluções – Troca de ferramentas	37
Tabela 11 - Problemas <i>versus</i> soluções – Segurança	37
Tabela 12 - Problemas <i>versus</i> soluções – Custos	38
Tabela 13 - Caracterização da escala do inquérito.....	39
Tabela 14 - Aplicação dos critérios do DFMA.....	42
Tabela 15 - Propriedades mecânicos do material a utilizar	43
Tabela 16 - Resultados das simulações	45
Tabela 17 - Etapas de corte dos rasgos no tubo corrugado.....	49
Tabela 18 - Especificações dos discos de corte	51
Tabela 19 - Cálculo da rotação dos discos de corte	53
Tabela 20 - Cálculo da velocidade de avanço de corte	54
Tabela 21 - Cálculo da espessura média da aparta	54
Tabela 22 - Cálculo da força específica de corte	55

Tabela 23 - Cálculo da potência requerida por lâmina	55
Tabela 24 - Cálculo da rotação à saída do servomotor	57
Tabela 25 - Valores dos pesos do conjunto do prato rotativo	57
Tabela 26 - Seleção do servomotor.....	58
Tabela 27 - Dados iniciais para o cálculo da força do cilindro	59
Tabela 28 - Cálculo da força dos 3 braços de corte.....	59
Tabela 29 - Cálculo da produção no novo modelo.....	70
Tabela 30 - Dados de produção dos tubos de Ø500 e Ø200.....	72
Tabela 31 - Evolução estrutural da serra	72
Tabela 32 - Redução de custos de fabrico.....	75
Tabela 33 - Comparação de riscos entre a máquina antiga e a nova	77
Tabela 34 - Resumo das melhorias previstas	77

Lista de Siglas

3D – **3** Dimensões

ae – Largura de corte

ap – Profundidade de corte

CEO – **C**hief **E**xecutive **O**fficer

CAD – **C**omputer **A**ided **D**esign

CAE – **C**omputer **A**ided **E**ngineering

D – Diâmetro do disco de corte

DFMA – **D**esign for **M**anufacturing and **A**ssembly

DFM – **D**esign for **M**anufacturing

DFA – **D**esign for **A**ssembly

DFSM – **D**esign for **S**erviceability and **M**aintainability

DFX – **D**esign for **E**xcellence

Dn – Diâmetro nominal

fz – Avanço por dente

hm – Espessura média da apara

Kc – Força específica de corte

Kc1 – Força específica de corte por área

Kr – Ângulo de posição

mc – Fator de correção

MTM – **M**ethods **T**ime **M**easurement

n – Rotação

OIT - Organização Internacional do trabalho

PE - Polietileno

Pc – Potência líquida

PP – Polipropileno

PVC – Policloreto de vinil

QCO – *Quick Changeover*

SN4 – Classe de rigidez $\geq 4\text{kN/m}^2$

SN8 – Classe de rigidez $\geq 8\text{kN/m}^2$

SMED – **S**ingle **M**inute **E**xchange of **D**ie

TMU – **T**ime **M**easurement **U**nit

TVicat – Temperatura de amolecimento

Vc – Velocidade de corte

Vf – Velocidade de avanço de corte

Zc – Número de dentes

Índice

DEDICATÓRIA	I
AGRADECIMENTOS	III
RESUMO.....	V
ABSTRACT	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABELAS	X
LISTA DE SIGLAS	XII
ÍNDICE	XIV
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 ENQUADRAMENTO E OBJETIVOS	1
1.2 ESTRUTURA DA TESE	2
2. ESTADO DA ARTE	5
2.1 ENQUADRAMENTO TÉCNICO	6
2.2 METODOLOGIAS APLICÁVEIS	13
2.3 LEGISLAÇÃO APLICÁVEL	26
3. CARACTERIZAÇÃO DO EQUIPAMENTO EXISTENTE	29
3.1 CONFIGURAÇÃO E ASPETO GERAL	30
3.2 DESEMPENHO E FUNCIONAMENTO	31
3.3 PROCESSO DE MONTAGEM	33
3.4 MANUTIBILIDADE E FIABILIDADE	35
3.5 TROCA DE FERRAMENTAS	36
3.6 SEGURANÇA.....	37
3.7 CUSTOS	38
3.8 A IMPORTÂNCIA DE CADA ASPETO FUNCIONAL.....	39
4. REENGENHARIA DO EQUIPAMENTO	41
4.1 SIMULAÇÃO E OTIMIZAÇÃO DE PEÇAS	43
4.2 SISTEMA DE CORTE	46
4.3 SELEÇÃO E DIMENSIONAMENTOS	49
4.3.1. DISCOS DE CORTE	49
4.3.2. MOTORES E SERVOMOTOR	51
4.3.3. DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA HIDRÁULICO.....	59
4.3.4. SELEÇÃO DA CORREIA	62
4.3.5. SELEÇÃO DOS ROLAMENTOS.....	63
4.3.6. REDUÇÃO DO RUÍDO	64

4.4	TEMPO DE <i>SETUP</i>	65
4.5	ANÁLISE DE RISCOS.....	65
5.	DISCUSSÃO DE RESULTADOS	67
5.1	ASPETO FUNCIONAL	68
5.2	ASPETO ESTRUTURAL	72
5.3	MANUTENÇÃO.....	73
5.4	TROCA DE FERRAMENTAS.....	73
5.5	RUÍDO.....	74
5.6	CUSTOS DE FABRICO, OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO	75
5.7	EFICIÊNCIA E DISPONIBILIDADE	76
5.8	MARCAÇÃO CE.....	76
5.9	RESUMO DAS MELHORIAS	77
6.	CONCLUSÕES	79
	BIBLIOGRAFIA	83
	ANEXOS	89
A	– SERRA DE DRENO - VISTA EXPLODIDA.....	1
B	– INQUÉRITO REALIZADO.....	1
C	– DESENHOS DE FABRICO E MONTAGEM	1
D	– SIMULAÇÃO ESTÁTICA AO BRAÇO DO CILINDRO HIDRÁULICO	1
E	– CONFIGURAÇÃO DA SERRA 2, 4 E 6 RASGOS.....	1
F	– RELATÓRIO DA SELEÇÃO DOS MOTORES E SERVOMOTOR	1
G	– DIMENSIONAMENTO DA CORREIA.....	1
H	– TEMPO DE VIDA DOS ROLAMENTOS.....	1
I	– MTM DA NOVA SERRA DE DRENO	1
J	– ANÁLISE DE RISCOS DA SERRA DE DRENO (ANTIGA).....	1
K	– ANÁLISE DE RISCOS DA SERRA DE DRENO (NOVA SOLUÇÃO)	1

1. Introdução

A engenharia, qualquer que seja a área de atuação, civil, eletrotécnica, mecânica, entre outras, têm beneficiado da evolução das ferramentas informáticas associadas ao desenho e projeto mecânico assistido por computador, vulgarmente designadas por ferramentas de CAD (*Computer Aided Design*) e de CAE (*Computer Aided Engineering*) (Costa 2012; Marques et al. 2013).

Com as ferramentas de CAD e CAE que hoje temos ao nosso dispor podemos minimizar os erros, conseguindo ao mesmo tempo reduções significativas nos custos e tempos. Deste modo é de extrema importância a realização correta dos “projetos” para que os problemas sejam minimizados.

1.1 Enquadramento e objetivos

Partiu-se para este trabalho com a necessidade de encontrar uma solução alternativa otimizada para uma serra de dreno para a produção de rasgos em tubos corrugados já existente. Para tal, planeou-se uma reengenharia deste equipamento utilizando as abordagens metodológicas SMED e recorrendo aos conceitos de outras metodologias, tais como, o DFM (*Design for Manufacturing*), DFA (*Design for Assembly*), DFMA (*Design for Manufacture and Assembly*), DFSM (*Design for Serviceability and Maintainability*), DFX (*Design for Excellence*) e o MTM (*Methods Time Measurement*).

No caso de equipamentos que são concebidos para aplicação em sistemas de produção, é importante ter-se em atenção, tanto na conceção do equipamento nomeadamente ao nível da sua segurança e fiabilidade, como ao nível da otimização das suas funções de produção.

O trabalho desenvolvido tem como principal objetivo a resolução de problemas que foram detetados num equipamento industrial de corte de tubo corrugado. Foi dado um especial enfoque ao sistema de corte, pois foi verificado e registado no projeto anterior que a máquina revelava problemas funcionais que prejudicavam o tempo de operações, assim como a conformidade dos produtos.

Com o propósito de introduzir melhorias na fiabilidade do equipamento, redução drástica nos

tempos de manutenção, otimização da produção assim como a redução de custos são apresentadas alternativas construtivas no sistema de corte aplicado no equipamento industrial. Com a intenção de identificar as melhores soluções para a nova serra de dreno, foram realizadas observações de alguns equipamentos deste tipo, nomeadamente, nos produtores de tubo corrugado. A observação atenta do processo de corte em tubo corrugado permitiu a análise dos problemas evidenciados pelas unidades de fabrico, possibilitando a elaboração de especificações preliminares que proporcionassem uma melhoria clara e significativa do desempenho do equipamento.

Utilizando no processo de reengenharia a vertente técnica aliando com a componente científica, foi desenvolvida uma solução alternativa que oferece boas perspectivas na eliminação de falhas, redução de custos e aumento a produtividade.

Revelam-se de extrema importância identificar o que funcionava de forma menos eficaz, elaborar propostas para eliminar esses problemas, planeamento das ações a implementar e quantificar os ganhos.

Com o processo de reengenharia realizou-se uma mudança significativa do modo construtivo do equipamento. Este trabalho apresenta e justifica as alterações propostas para alcançar um equipamento melhorado.

1.2 Estrutura da tese

Neste primeiro capítulo faz-se o enquadramento do problema existente o qual se pretende estudar e solucionar, assim como, é apresentada toda a estrutura da tese onde são detalhados os vários capítulos constituintes da tese.

No segundo capítulo, apresenta-se o enquadramento técnico do objeto de estudo. Neste segundo capítulo também é desenvolvido o estado da arte dos conceitos científicos e metodologias que suportam as alterações propostas na procura de uma solução otimizada que garanta a qualidade exigível a qualquer equipamento/produto e ainda um enquadramento da legislação aplicável a este tipo de equipamento.

O terceiro capítulo faz a caracterização do equipamento existente onde estão indicados os problemas detetados e possíveis correções a implementar com vista a uma melhoria de desempenho.

No quarto capítulo aborda-se o processo de reengenharia realizado no desenvolvimento deste trabalho. Neste capítulo são apresentados os cálculos de dimensionamento dos vários equipamentos, nomeadamente atuadores e elementos de corte a utilizar na serra de dreno. Apresenta-se também neste capítulo a análise de riscos, elemento importante para a obtenção da marcação CE.

No quinto capítulo são analisados os dados obtidos neste estudo. Apresentam-se e quantificam-se os ganhos previstos em termos de fiabilidade e manutibilidade, custos de fabrico e manutenção, segurança e ruído, eficiência no processo de corte e tempos de *setup*.

No último capítulo, são apresentadas as conclusões referentes às ações desenvolvidas no processo de reengenharia da serra de dreno, assim como as propostas de melhoria, quanto e como essas alterações se revelam mais-valias para o melhoramento e otimização da nova serra de dreno.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

2. Estado da arte

O projeto mecânico é a essência da engenharia moderna e a base de toda a produção industrial. O desenvolvimento de qualquer produto industrial deve seguir as linhas orientadoras de um projeto. O projeto pode ser apresentado de várias formas como um desenho, um organograma ou uma sequência de eventos ou fases. Projetar é uma atividade criativa e mental, com o objetivo de encontrar soluções ótimas para problemas técnicos, com considerações científicas, tecnológicas, económicas, estéticas e ergonómicas. Um procedimento sistemático e metodológico em todas as fases do projeto assegura bons resultados (Neto 2009; Silva 2014).

Todo o projeto deve ser simples, seguro e inequívoco, por isso o projeto de equipamentos é de primordial importância dado que não só influencia a sua conceção como todo o desempenho no processo produtivo onde será inserido. Um dos primeiros autores a abordar, de uma forma mais orientada, as atividades desenvolvidas ao longo do processo de projeto de engenharia, foi Asimow M., em 1962, com a obra “*Introduction to design: fundamentals of engineering design*” (Neto 2009; Silva 2014).

A Tabela 1 apresenta as linhas orientadoras para as diferentes fases de desenvolvimento de projeto propostas por Asimow M..

Tabela 1 - Fluxograma de projeto proposto por Asimow (1968) (Neto 2009; Silva 2014)

Necessidades Primárias	
Estudo da exequibilidade	
Projeto preliminar	Fases primárias do projeto
Projeto detalhado	
Planeamento da produção	Fases relacionadas com o ciclo de produção e consumo
Planeamento para distribuição	
Planeamento para consumo	
Planeamento para descarte	

O estado da arte aqui exposto divide-se em três vertentes. Na primeira vertente é abordado o fabrico e conceção do tubo corrugado, as suas características e propriedades assim como as suas aplicações. Também é focado o equipamento industrial designado por serra de dreno, assim como as suas características. Na segunda vertente são apresentados as abordagens *Single Minute Exchange of Die* aplicáveis e as várias metodologias, aplicadas na otimização

da serra, como por exemplo *Design for Manufacturing*, *Design for Assembly*, *Design for Manufacture and Assembly*, *Design for Serviceability and Maintainability*, *Design for Excellence* e o *Methods Time Measurement*. É ainda abordada, numa terceira vertente, a legislação aplicável dando a evidência devida à norma 2006/42/CE, vulgarmente designada como Diretiva Máquina.

2.1 Enquadramento técnico

Extrusão

O objeto deste trabalho baseia-se na otimização de uma serra de dreno. Este equipamento é utilizado para produzir rasgos em tubos corrugados, fabricados pelo processo de extrusão.

O processo de extrusão consiste, utilizando uma extrusora, em colocar a matéria-prima numa tremonha, que alimenta um fuso onde é sujeita a uma temperatura elevada, passando de um estado sólido a um estado pastoso. Com o rodar do fuso, a matéria-prima é forçada a passar por uma fieira onde é conferida a forma desejada (Santos & Martins 2004; Beltrán & Marcilla 2014).

A Figura 1 apresenta, em corte, o interior de uma extrusora, pode-se entender o percurso que o material realiza desde que é colocado na tremonha, recipiente de armazenamento, até que sai da extrusora já num estado pastoso e moldável e toma a forma geométrica da fieira adaptada na cabeça de extrusão.

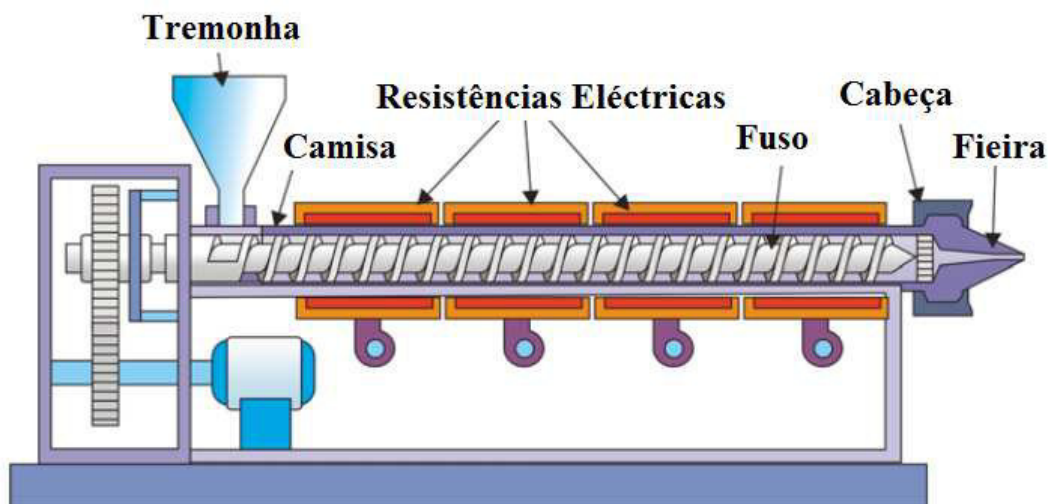


Figura 1 - Vista em corte de uma extrusora (Beltrán & Marcilla 2014)

Todas as extrusoras consideram-se divididas em 3 zonas. A zona da alimentação, a mais próxima da tremonha e na qual a profundidade do canal do fuso é maior, tem como objetivo compactar o material e transportá-lo para a zona seguinte à velocidade adequada. A zona de plastificação, transição ou de compressão é a zona intermédia na qual a profundidade do canal

diminui de modo gradual, é nesta zona que ocorre a fusão do material. A zona de dosificação ou bombeamento é a zona final perto da cabeça de extrusão, tem uma profundidade de canal do fuso pequena e constante, é nesta zona que o material fundido é homogeneizado e pressurizado para forçá-lo a passar sobre pressão a cabeça de extrusão.

Há uma grande variedade de termoplásticos que podem ser trabalhados, com maior ou menor dificuldade, por extrusão. Os mais utilizados por extrusão são o policloreto de vinilo, o polietileno, as poliamidas e os acrílicos (Santos & Martins 2004).

O tubo corrugado é fabricado por extrusão, para obter a geometria exterior que caracteriza este tipo de tubo, ao sair da extrusora, passando pela cabeça de extrusão para conferir a forma, o tubo tem de passar por um corrugador que, com moldes específicos, deformará o tubo dando origem às bossas do tubo corrugado.

O tubo corrugado é fabricado em Polipropileno e apresenta uma parede dupla, corrugada externamente e lisa no seu interior, permitindo oferecer um vasto conjunto de vantagens técnicas e económicas. A superfície interior deve apresentar-se lisa e sem defeito de forma a garantir o bom escoamento hidráulico.

A Figura 2 mostra uma cabeça de extrusão concebida para ser utilizada nos corrugadores de médio porte, oferecendo grandes vantagens na produção de tubos de parede simples, dupla ou tripla. A Figura 3 mostra um corrugador, equipamento que faz a moldação do tubo corrugado, podendo-se ver os moldes que irão dar a forma desejada ao tubo corrugado, estes moldes são guiados e conectados entre si.



Figura 2 - Cabeça de extrusão (Unicor 2014)



Figura 3 - Corrugador (Fibermesh007 2010)

O processo de extrusão deve ser realizado a uma velocidade constante para garantir a qualidade contínua do tubo. Em cada molde existe arrefecimento e um sistema de vácuo para que o tubo obtenha a geometria pretendida, não cole nas paredes do molde e solidifique mais

rapidamente sem que ocorra deformação. Os moldes são fabricados, dependendo do equipamento em que se inserem, em liga de alumínio ou em aço com tratamento superficial para garantir uma maior durabilidade.

Tubo corrugado

Segundo o *Plastics Pipe Institute*, a maior associação comercial que representa todos os segmentos da indústria de tubos plásticos, refere que o tubo corrugado, para determinadas aplicações, é a melhor escolha. Com anos de vida em serviço, superior resistência à abrasão e corrosão, alta eficiência na ligação de tubagens, facilidade de instalação devido ao peso reduzido e à simplificação das uniões, baixos custos de instalação com redução de tempos e equipamentos. Globalmente é um tubo aprovado, testado e comprovado da sua eficiência para drenagem e sistemas de esgoto (PPI 2014).

O tubo corrugado é utilizado como uma solução prática e eficiente para redes de saneamento enterrado sem pressão, drenagem de águas pluviais e industriais. Este tipo de tubo evidencia vantagens claras em comparação com os materiais tradicionais, como o betão, o fibrocimento, o grés e o PVC.

A preocupação crescente com o ambiente é cada vez mais um aspeto que pesa na hora de seleccionar este tipo de produto pois possui as características de ser reciclável, não poluente, não tóxico e conseguir ter estanquicidade a 100%.

O tubo corrugado tem um baixo peso específico, assim pode haver uma instalação segura, reduzindo o risco de acidentes (Fersil 2010).

A Figura 4 mostra um exemplo de tubo corrugado. Pode-se ver a parede lisa interior, a parede corrugada exterior, os rasgos para dreno e a boca de união e continuidade a outra vara de tubo.



Figura 4 - Tubo corrugado (Fersil 2010)

São inúmeras as vantagens na utilização do tubo corrugado, das quais destacam-se no domínio da segurança o baixo peso específico e a facilidade de manuseamento, no domínio da durabilidade a elevada esperança de vida, resistência à corrosão, à abrasão e a altas temperaturas, no âmbito do projeto as reduzidas perdas de carga e alta capacidade de

drenagem, no âmbito do manuseamento e instalação a facilidade de montagem e a alta resistência ao impacto, no campo ambiental a sua estanquicidade a 100%, totalmente reciclável e uma produção e transformação não poluente, no campo dos custos apresenta preços bastante competitivos (Fersil 2010).

Normas de referência

Cada vez mais a normalização é a base para a garantia da qualidade, deste modo, os tubos corrugados não fogem à regra e também requerem de normas para cumprir.

Na Tabela 2 encontram-se as normas mais comuns utilizadas no fabrico do tubo corrugado.

Tabela 2 - Normas para tubo corrugado (APIP 2014)

NP EN 13476-1:2008	Sistemas de tubagens de plástico, enterrados, sem pressão, para drenagem e saneamento. Sistemas de tubagens de parede estruturada de poli (cloreto de vinilo) não plastificado (PVC-U), polipropileno (PP) e polietileno (PE). Parte 1: Requisitos gerais e características de desempenho
NP EN 13476-2:2008	Sistemas de tubagens de plástico, enterrados, sem pressão, para drenagem e saneamento. Sistemas de tubagens de parede estruturada de poli (cloreto de vinilo) não plastificado (PVC-U), polipropileno (PP) e polietileno (PE). Parte 2: Especificações para tubos e acessórios com superfícies interiores e exteriores lisas e o sistema do Tipo A
NP EN 13476-3:2007+A1:2011	Sistemas de tubagens de plástico, enterrados, sem pressão, para drenagem e saneamento. Sistemas de tubagens de parede estruturada de poli (cloreto de vinilo) não plastificado (PVC-U), polipropileno (PP) e polietileno (PE). Parte 3: Especificações para os tubos e acessórios com superfície interior lisa e superfície exterior perfilada e o sistema, Tipo B

Propriedades do polipropileno

O polipropileno é um polímero cristalino produzido pela polimerização de moléculas de propileno podendo observar-se na Figura 5 o esquema da polimerização do propileno em propileno.

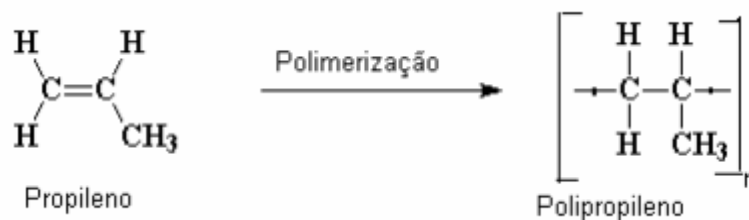


Figura 5 - Esquema da polimerização do propeno em propileno (Carvalho 2008)

Os tubos corrugados são fabricados, regra geral, em polipropileno, esta matéria como a grande maioria dos termoplásticos caracterizam-se pela leveza, alta flexibilidade, resistência ao impacto, baixas temperaturas de processamento, baixa condutividade e boa estabilidade térmica, resistência à corrosão, resistência química, resistência ao impacto, reciclável, soldável e moldável, não tóxico, pode ser aditivado e bom isolamento elétrico.

Na Tabela 3 encontram-se algumas das características físicas do polipropileno.

Tabela 3 - Características físicas do polipropileno (Santos & Martins 2004)

Características	Unidades	Homopolímero	Copolímero
Massa volúmica	Kg.m^{-3}	915	912
Temperatura de amolecimento de Vicat (1kg)	$^{\circ}\text{C}$	149	147
Condutibilidade térmica	$\text{W/m}^{\circ}\text{C}$	0.22	0.22
Coefficiente de dilatação térmica linear	$10^{-5}\text{x}^{\circ}\text{C}^{-1}$	15	15
Tensão de rotura (tração)	MPa	31-42	23-38
Extensão de rotura (tração)	%	100-600	500-1000
Módulo de elasticidade (tração)	MPa	1100-1600	1000-1400

Forma e geometria dos tubos corrugados

Os tubos e acessórios corrugados são compostos por parede dupla, corrugado no exterior e liso no seu interior.

A Figura 6 mostra a secção longitudinal de um tubo corrugado, a Figura 7 mostra em pormenor a vedação da junção de duas partes independentes de tubo corrugado.

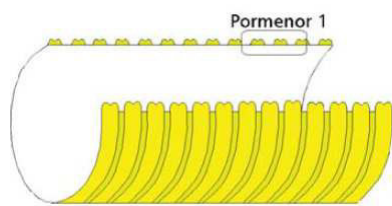


Figura 6 - Secção do tubo corrugado (Politejo 2014)

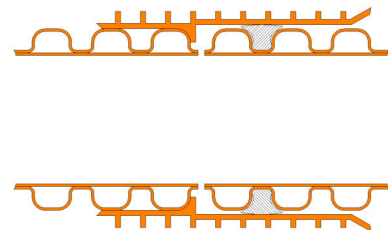
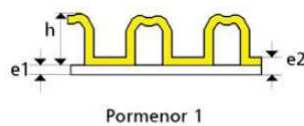


Figura 7 - Vedação com perfeita estanquicidade

(Fersil 2010)

Os tubos e acessórios são referenciados com base numa dimensão nominal associada ao diâmetro exterior e numa classe de rigidez circunferencial (SN4 ou SN8).

Os tubos, consoante o seu diâmetro, são comercializados em bobines ou em varas com um comprimento de 6 metros.

Tubo perfurado ou de Dreno

A serra de dreno vai trabalhar sobre o tubo corrugado, efetua os vários rasgos ao longo do tubo, com a finalidade de obter o chamado tubo de dreno. Os tubos de dreno, são do tipo circulares, de dupla parede, corrugados pelo exterior e lisos pelo interior, com perfurações (cortes ou rasgos controlados) na base entre os anéis corrugados, esses rasgos estão espaçados circularmente em ângulos de 60° . Os tubos perfurados são classificados em função da distribuição das perfurações:

Totalmente perfurado- com rasgos uniformemente distribuídos em todo o perímetro da sua secção transversal, 6 rasgos a 60° (360°).

Semi-perfurado- com rasgos distribuídos em parte da sua secção transversal, 4 rasgos a 60° (240°) ou 2 rasgos a 60° (120°).

No tubo de dreno podem-se fazer rasgos de 3 formas normalizadas, a Figura 8 mostra a distribuição de 6, 4 e 2 rasgos no tubo corrugado.

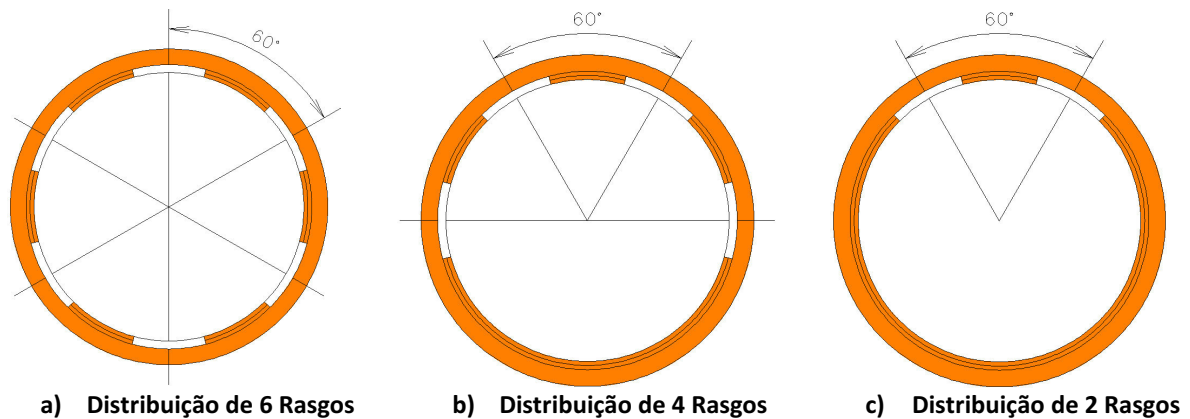
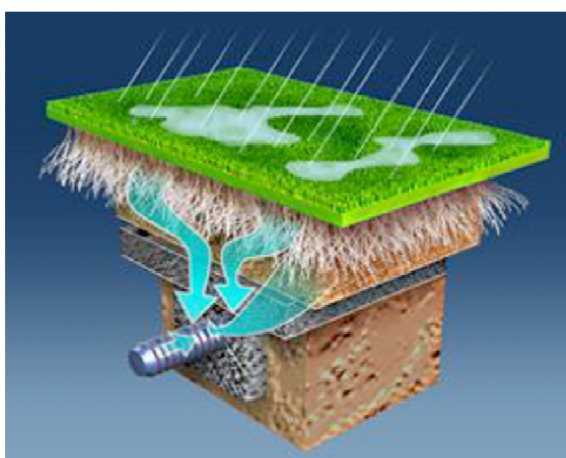


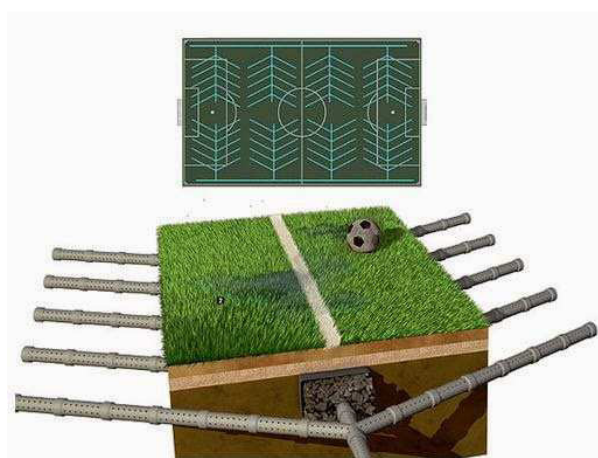
Figura 8 – Distribuição dos rasgos no tubo corrugado (Fersil 2010)

Aplicações

Não sendo um produto de conhecimento alargado a aplicabilidade do tubo corrugado é uma mais-valia para várias atividades produtivas. As aplicações dos tubos corrugados estendem-se nas áreas das águas pluviais, condutas subterrâneas para cabos elétricos ou de telecomunicações, entre outras, sendo são aplicados na drenagem de vias de comunicação, redes ferroviárias, canais abertos, campos desportivos, campos agrícolas, muros de contenção, subsolo de casas, em estacionamento, entre outros. Na Figura 9.a) pode-se ver detalhadamente o princípio de funcionamento do tubo de dreno, na Figura 9.b) pode-se ver uma aplicação da utilização do tubo de dreno para realizar a drenagem num campo de futebol.



a) Princípio de funcionamento (Sports 2014)



b) Exemplo de uma aplicação (Pedreira 2014)

Figura 9 – Princípio de funcionamento e exemplo do sistema de drenagem

Serra de dreno

A serra de dreno é um equipamento, de características específicas, que irá realizar os rasgos no tubo corrugado para que tenhamos os tubos de drenagem prontos a utilizar nas suas diversas aplicações.

A Figura 10 mostra um perfurador, equipamento com modo de operação diferente, mas com a mesma função de produzir tubos para drenagem conforme é visível no pormenor do tubo. Na Figura 11 pode-se ver uma serra de dreno, com um detalhe do interior de corte onde são visíveis os vários braços com os discos de corte.



Figura 10 - Perfurador Corma (Corma 2014)



Figura 11 - Serra de dreno Primac (Baruffaldi 2014)

De forma fácil de entendimento, o que é pretendido é, introduzir os tubos corrugados por um lado da serra de dreno e do outro lado, este saia com os rasgos ao longo do seu comprimento. Para obtermos o produto final nas melhores condições e a respeitar os critérios de qualidade mais exigentes, é necessário que a serra de dreno tenha em atenção alguns fatores de construção, tais como, robustez para um funcionamento estável e equilibrado, sistema de aperto do tubo eficiente, movimento de avanço de corte preciso, bom sistema de exaustão das rebarbas e para conferir um elevado grau de automatismo, um sistema de alimentação e acondicionamento dos tubos.

Na mesma serra serão cortados vários diâmetros de tubo, o fabricante estabelece a gama de tubo a cortar para cada equipamento. Aos vários diâmetros de tubo correspondem diferentes medidas de espaçamentos de bossas, a serra de dreno deve estar preparada para facilmente mudar de discos de corte.

Em cada ciclo de corte é necessário que o tubo esteja bem fixo para que ao se efetuar o corte o tubo não se mova, com o tubo imobilizado já é possível realizarem-se os rasgos com as dimensões pretendidas. Para que esta situação se verifique, e seja eficaz, são necessários dois sistemas de aperto, um para a entrada e outro para a saída da máquina, deste modo os rasgos

serão feitos entre os apertos.

Ao efetuar o corte dos sucessivos rasgos são libertados pequenos partes de tubo (rebarbas), essas rebarbas têm de ser removidas da serra, assim, é necessário que a serra esteja provida de um sistema de limpeza bem dimensionado que permita o bom funcionamento e segurança do equipamento.

A Figura 12 mostra uma unidade de corte completa, com uma mesa de alimentação, onde os tubos estão até passar para o transportador de entrada, este por sua vez, vai transportar os tubos para dentro da serra onde são rasgados, um transportador de saída que transporta os tubos para a fora da serra, que posteriormente são encaminhados para a mesa de recolha onde é realizado o acondicionamento do tubo de drenagem.

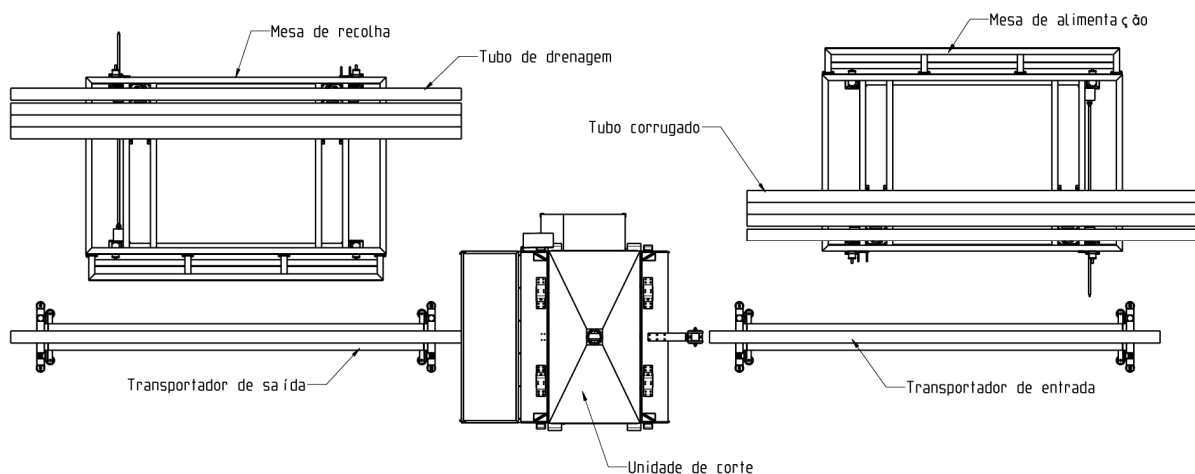


Figura 12 - Layout da unidade de corte (Periplast 2014)

A serra de dreno tem de ser alimentada com os tubos para serem rasgados, para isso tem de haver um automatismo que leve o tubo para dentro da serra e outro que retire o tubo já enquanto produto final. Nas unidades de corte mais complexas pode haver uma mesa que recebe os tubos e os empilhe, prontos a entrarem na serra para serem rasgados e posteriormente pode haver um sistema de embalagem e acondicionamento dos tubos de drenagem.

2.2 Metodologias aplicáveis

O desenvolvimento de novos produtos implica uma elevada probabilidade de ocorrência de erros. A utilização de técnicas e métodos são altamente indicadas, para melhorar o desenvolvimento do projeto, produtos e serviços. Neste contexto, a metodologia de projeto

apresenta uma série de ferramentas e técnicas que podem conduzir aos objetivos desejados (Neto, 2009).

O aumento da produtividade é a chave para a redução de custos no ambiente global que nos inserimos. A Siemens, no final de 2012, pretendia fazer uma redução de 6 bilhões de euros e 50% dessa redução estava relacionada com a produtividade e a excelência do produto (Reuters 2012).

A realidade da Siemens nada tem a ver com a otimização de uma serra de dreno em termos de valores monetários, no entanto, a experiência e conhecimento que os leva a colocar o foco na produtividade e na qualidade do produto, leva-nos ainda mais a crer que a busca de uma solução que garanta a funcionalidade e produtividade tal como a qualidade final do produto é a meta a alcançar, não só pela credibilidade comercial mas também pelo equilíbrio financeiro da empresa. Este equilíbrio exige a definição de metas e objetivos claros como meio de reduzir custos de forma sustentável e manter esta redução a longo prazo (Guarraia *et al.* 2012).

A seguir vão ser abordados alguns conceitos que foram tidos em consideração no presente trabalho, são eles as metodologias SMED aplicáveis, assim como as filosofias, DFM, DFA, DFMA, DFSM, DFX e MTM.

SMED - *Single Minute Exchange of die*

Com o aumento exponencial da competitividade os clientes necessitam de séries de produtos mais pequenas. As empresas fabricantes, para satisfazerem este requisito, cada vez mais, vêm o tempo de troca de ferramentas aumentado, conseqüentemente o tempo de paragem dos equipamentos aumenta, este tempo é considerado como desperdiçado. Aliando o bom trabalho de equipa das empresas com a implementação de metodologias tipo SMED podem reduzir-se gradualmente os tempos de troca das ferramentas e um significativo e contínuo melhoramento do sistema de funcionamento dos equipamentos (Kušar *et al.* 2010).

É muito importante a redução do tempo de troca de ferramentas nas máquinas pelo facto que este tempo tem um impacto significativo nos custos de fabrico devido à redução dos tamanhos das encomendas (Kušar *et al.* 2010).

O objetivo da aplicação da metodologia, *Single Minute Exchange of Die* (SMED) - troca rápida de ferramentas, é minimizar o tempo de *setup* ou seja reduzir o tempo de preparação dos equipamentos para que estes estejam disponíveis para realizar as tarefas para que foram idealizados e construídos (Costa *et al.* 2013; Kušar *et al.* 2010; Sharma *et al.* 2014).

Single Minute Exchange of Die (SMED) é um dos vários métodos da filosofia *Lean* para

reduzir desperdícios de produção. Este método permite de uma maneira rápida e eficiente alterar o produto de uma linha de produção e é também conhecido por *Quick Changeover* (QCO). Uma mudança de forma rápida e eficiente permite obter uma maior flexibilidade da instalação industrial, e ao mesmo tempo reduzir custos (Costa *et al.* 2013; Mota 2007).

Este conceito nasceu nos finais da década de 50, inícios da década de 60, quando Shigeo Shingo, engenheiro na Toyota tentava calcular qual a quantidade ideal de produtos que cada lote devia ter, de maneira a reduzir custos (Mota 2007).

Em alguns sectores do meio industrial um dos pontos críticos do processo produtivo são as mudanças de formato, estão são operações que na cadeia de valor não acrescentam valor ao produto, mas são indispensáveis à produção (Costa *et al.* 2013; Mota 2007).

Neste equipamento, objeto de estudo, a serra de dreno, existem os discos de corte que têm de ser trocados sempre que seja necessário mudar o diâmetro de tubo a cortar. Para que a serra esteja disponível a trabalhar é importante que essa troca seja realizada o mais rápido quanto possível.

A Figura 13 mostra que, a implementação de metodologias SMED, numa máquina existente, sem que ocorram alterações no equipamento, permite a redução de tempo de troca de ferramentas a custos mais reduzidos mas também com efeitos menos abrangentes. O projeto de uma nova máquina, utilizando a metodologia SMED, é a solução mais dispendiosa mas na qual se consegue a redução mais significativa do tempo de troca de ferramentas. Tendo em conta estas duas situações verifica-se que se torna mais eficiente utilizar metodologias SMED e implementar medidas de melhorias nos equipamentos já existentes (Kušar *et al.* 2010).

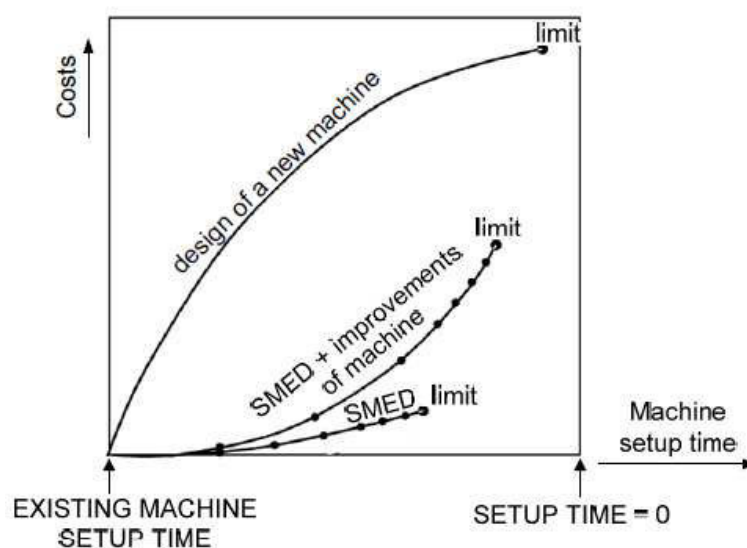


Figura 13 - Relação de tempos de troca de ferramenta e custos (Kušar *et al.* 2010)

A redução do tempo de *setup* vai aumentar a disponibilidade do equipamento o que permite um aumento de produtividade, acrescentando assim mais-valias ao produto final. Quando a produção for de vários diâmetros de tubo então o ciclo produtivo é claramente incrementado.

DFM - *Design for Manufacturing*

O entendimento deste importantíssimo conceito, *Design for Manufacturing* - projeto orientado para o fabrico na fase de projeto, é o idealizar uma simples peça para realizar uma determinada tarefa a pensar-se no seu modo de fabrico de forma perfeitamente integrada com o projeto.

Roger W. Boltz foi uma das primeiras pessoas a lançar as bases da metodologia DFM, apesar de ainda não utilizar esta nomenclatura, tendo publicado diversos artigos sobre vários processos de fabrico do ponto de vista da engenharia de produtos (Barbosa 2007).

Em 1960, a *General Electric* lançou o livro “*Manufacturing Producibility Handbook*” e começou a utilizar o termo “*Producibility*” para identificar esta técnica, anos mais tarde, este termo começou a ser substituído por *Design for Manufacturing* (Barbosa 2007).

É de realçar a importância e aplicabilidade do conceito DFM, com a evolução técnica, atualmente, muitas empresas passaram a implementar programas da qualidade da conformidade do produto. Face a esta realidade e necessidade, o processo de projeto tem de estar verdadeiramente focado na qualidade. O objetivo do DFM é desenvolver um produto que atenda todos os requisitos funcionais, tenha baixo custo de produção e que também seja de fácil fabrico (Barbosa 2007).

O conhecimento dos vários processos disponíveis para o fabrico de componentes ajuda à implementação deste processo. Projetar peças tendo em mente o menor desperdício de material facilita o fabrico, assim como reduz custos imediatos em materiais. A escolha correta de materiais, as geometrias, as tolerâncias dimensionais e os acabamentos não podem ser descuidados pois implicam um acréscimo significativo no custo de fabrico de cada peça e conseqüente aumento no valor final do equipamento. A fase de projeto é importante por influenciar diretamente o ciclo de vida das peças e equipamentos, assim como, em futuros custos de manutenções ou peças consumíveis. A aplicação desta metodologia durante o desenvolvimento de produtos faz com que o custo total de desenvolvimento e o prazo para disponibilizar o produto no mercado sejam diminuídos, aumentando assim a competitividade da empresa (Barbosa 2007).

Um estudo publicado pela Universidade do Novo México conclui que 70% dos custos de produção de um produto, custos de materiais, fabrico e montagem, são determinados por

decisões de projeto, assim, revela o grau de relevância do DFM e DFA (Greenlee 2014).

Tien-Chien Chang, Richard A. Wysk, e Hsu-Pin Wang no seu livro *Computer-Aided Manufacturing* abordam a temática do DFM e enumeram um conjunto de princípios ou diretrizes a seguir (Greenlee 2014):

- Reduzir o número total de peças. A redução do número de peças de um equipamento é, provavelmente, a melhor via para a reduzir os custos de fabrico. Menos peças implica menos compras, inventário, manuseamento, tempo de processamento, tempo de desenvolvimento, equipamentos, tempo de engenharia, dificuldade de montagem, inspeção de serviço, testes, etc.
- Usar componentes padrão ou *Standard*. Componentes padrão são menos caros do que as peças fabricadas por medida. A elevada disponibilidade destes componentes reduzem os prazos de entrega do produto. A utilização de componentes normalizados alivia parcialmente a preocupação de produção para o fornecedor.
- Projeto de peças multifuncionais. Peças multifuncionais reduzem o número total de peças de uma conceção. Estas peças podem ter as mesmas ou diferentes funções, quando utilizado em produtos diferentes.
- Projeto para fácil fabrico. Selecionar a combinação ideal entre o material e o processo de fabrico para minimizar o custo de produção global. Regra geral, operações finais, tais como pintura, polimento, maquinações de acabamento, etc., devem ser evitados. Tolerâncias excessivas ou superfícies maquinadas são geralmente requisitos que resultem num aumento do custo de produção maior do que o necessário.
- Evitar fixadores separados. A utilização de elementos de fixação aumenta o custo de fabrico de um equipamento devido ao manuseamento e operações que têm de ser executadas na sua produção. Estas operações não são 100% seguras contribuindo deste modo para a redução da eficiência de fabrico. Elementos de fixação (parafusos) devem ser evitados e substituídos, por exemplo, por elementos de ligação de encaixe rápido. Se os parafusos tiverem de se utilizados, então, deve-se minimizar o número, tamanho, e a diversidade utilizada. Sempre que possível utilizar componentes padrão e evitar parafusos muito longos ou muito curtos e anilhas separadas.
- Maximizar as conformidades. Os erros podem ocorrer durante as operações de montagem devido a variações nas dimensões das peças ou na precisão dos dispositivos de posicionamento utilizados. Estes comportamentos defeituosos podem causar danos às peças e/ou nos equipamentos utilizados. Por esta razão, é necessário incluir o cumprimento de conformidades no fabrico das peças e no processo de montagem.

- Minimizar o manuseamento. Manuseamento consiste no posicionamento, orientação, e fixação de uma peça ou componente. Para facilitar a orientação, as peças simétricas devem ser utilizadas sempre que possível. Se isso não for possível, então a assimetria deve ser exagerada para evitar falhas. Utilizar guias externas para ajudar a orientação de uma peça. As operações seguintes devem ser realizadas de modo a que a orientação da peça não sofra alterações. Evitar o uso de peças flexíveis. Ter em atenção o modo de transporte das peças ou equipamento, sabendo as dimensões do transportador, para que este se possa realizar de forma apropriada e segura.

Brian Klippel apresentou a sua tese onde propõe a implementação da metodologia DFM aplicada nos processos de fabrico de componentes automóveis. As conclusões são indicadoras da necessidade de implementação de métodos de projeto de processos sistemáticos para um desenvolvimento eficiente de novas linhas de fabrico, da necessidade de novas e diferentes ferramentas de DFM em alternativa à análise tradicional (Klippel 1998).

DFA - *Design for Assembly*

O *Design for Assembly*, projeto orientado para a montagem, é um conceito de fácil entendimento, na fase de projeto. O projetista deve ter sempre em mente o processo de montagem, de forma fácil e intuitiva, para cada peça ou conjunto de peças constituintes de uma máquina a montar. O DFA, também conhecido como “Projeto voltado para a montagem”, visa garantir que a montagem do produto se realize de forma fácil e rápida (Scur *et al.* 2013; Amaral 2007; Sarmiento 2009).

O *Design for Assembly* surgiu, algum tempo depois do DFM, com Geoffrey Boothroyd que ampliou a metodologia do DFM para a montagem automática, projetando o produto de forma que pudesse considerar esta nova condição. O DFA, além de se focar no processo automático, passou também a facilitar a montagem manual dos componentes (Barbosa 2007; Sarmiento *et al.* 2010).

O DFA tem como objetivo racionalizar a etapa de montagem por meio da redução de número de peças, analisando separadamente a função, forma, material e montagem de cada uma e assim desenvolver um produto funcional, simples e com baixo custo de produção. Deste modo, a aplicação desta metodologia durante o desenvolvimento de produtos faz com que o custo total de desenvolvimento e o prazo de entrega sejam reduzidos (Barbosa 2007; Sarmiento *et al.* 2010; Amaral 2007).

O objetivo do DFA é simplificar o produto para que o custo de montagem seja reduzido. Como consequência da aplicação do DFA, normalmente consegue-se uma melhor qualidade,

fiabilidade e uma redução na produção de peças e equipamentos (Scur *et al.* 2013; Sarmento *et al.* 2010; Chan & Salustri 2005).

De acordo com Chan e Salustri (Chan & Salustri 2005), as atividades de montagem industrial consideram-se associadas ao grau de automação, estas podem ser analisadas em três grandes grupos, são eles:

- Montagem manual
- Montagem com elevada automação
- Montagem com automação robótica

A Figura 14 apresenta um gráfico comparativo da evolução dos custos associados aos 3 grupos de montagem industrial em função do volume de produção anual.

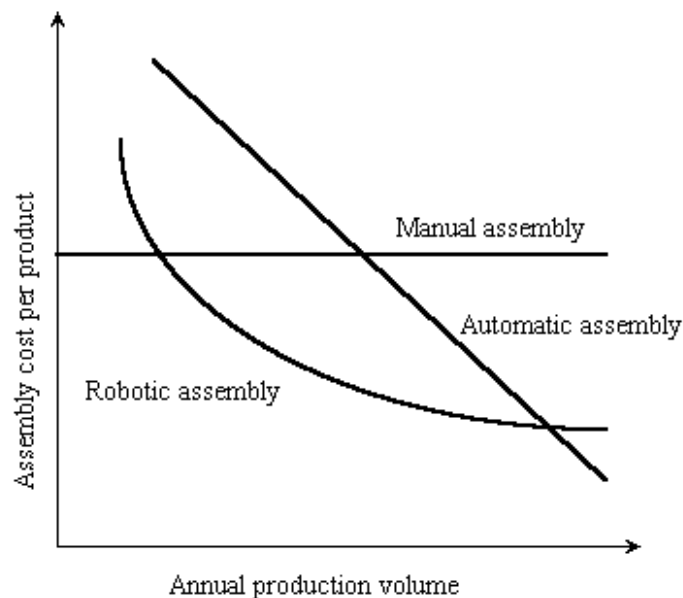


Figura 14 - Comparação dos métodos de montagem (Chan & Salustri 2005)

O projeto de peças simples que facilitem a sua montagem possui implicações claras na redução de custos. Para além de simplificar cada peça também é importante reduzir a quantidade de peças resultando assim em menores custos de fabrico, redução de tempo na montagem e minimização da possibilidade de ocorrência de erros na montagem.

DFMA - Design for Manufacture and Assembly

O *Design for Manufacture and Assembly* é uma técnica utilizada durante o desenvolvimento e melhoria de produtos, focaliza-se na simplificação do processo de montagem, com o objetivo de reduzir o ciclo de fabricação e melhorar a qualidade do produto obtendo assim uma redução de custos. O DFMA reúne os conceitos e preocupações do DFM e DFA (Nunes 2004).

O DFMA deve ser utilizado, como mostra na Figura 15, com maior ênfase, no início da fase

conceitual do projeto, pois nesta etapa, os custos de modificações são mais baixos e o tempo de duração do projeto pode ser reduzido, disponibilizando o produto mais rápido para o mercado e com um preço significativamente menor (Barbosa 2007; Nunes 2004).

A Figura 15 mostra as várias etapas da aplicação do DFMA desde a concepção do projeto até à produção do produto ou equipamento.

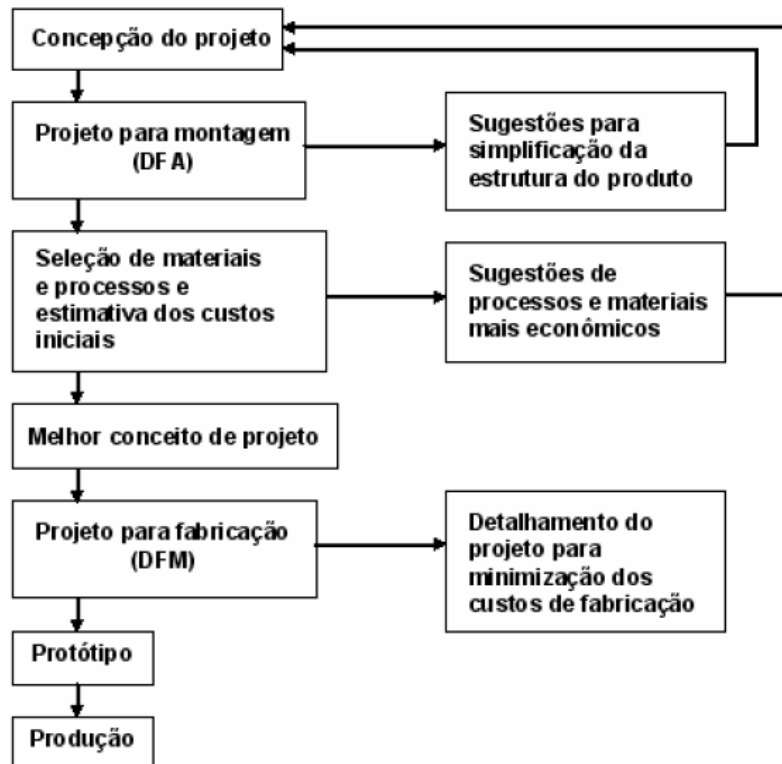


Figura 15 – Etapas da aplicação do DFMA (Barbosa 2007)

Michel Kalyun e Tezera Wodajo (2012) abordam a temática DFMA e o papel fundamental da aplicação dos critérios e conceitos necessários para o sucesso da implementação do sistema. A tese foi fundamentada para fazer cumprir os seguintes indicadores: mobilidade, custo do ciclo de vida, tempo, segurança do trabalhador, segurança de moradores, barulho, emissão de poeira, emissões de gases de efeito estufa, uso de energia, redução de resíduos e reciclagem. Todas as metodologias são de um grau lato de abrangência e que se devem aplicar especificamente a cada tipo de aplicação. A conclusão desta tese refere que a implementação do DFMA conduz os projetistas a fazerem o seu trabalho da maneira certa “*right ways of doing things*” (Kalyun & Wodajo 2012).

A Figura 16 quantifica os vários pontos onde são evidenciadas as melhorias provocadas pela ação dos métodos do DFMA, verificando-se a redução de vários pontos fundamentais do fabrico e montagem de equipamentos com uma evidente redução do tempo necessário para colocar o produto no mercado.

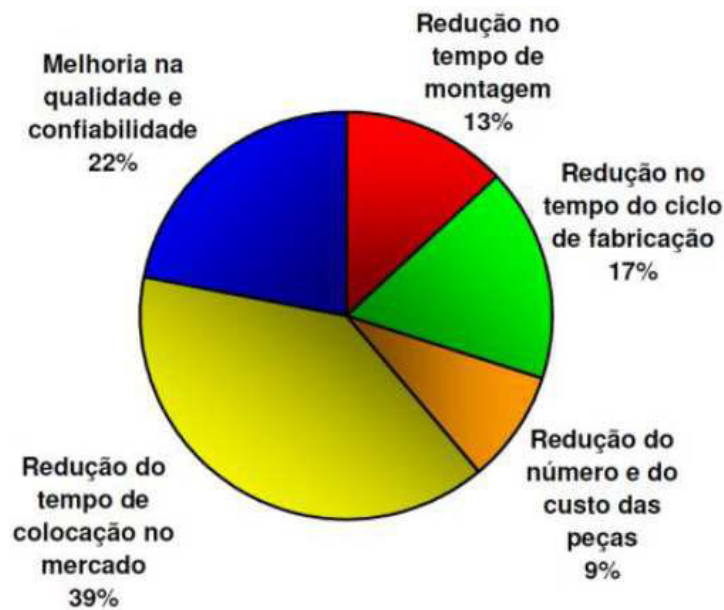


Figura 16 - Importância do DFMA (Scur et al. 2013)

Princípios e regras do DFMA

O *Design for Manufacturing and Assembly* tem em consideração a função, a forma, o material e a montagem de cada peça de modo a desenvolver um produto funcional e simples.

Para a implementação do DFMA devem-se seguir os seguintes critérios (Barbosa 2007; Scur et al. 2013):

- Minimização do número de peças
- Padronização de componentes
- Projeto de peças com características auto-fixadoras
- Montagem empilhada ou unidirecional
- Projetar peças com características de auto-localização
- Minimização de níveis de montagem
- Facilidade de manipulação de peças
- Projeto para estabilidade
- Minimização da necessidade de ajustes
- Otimização da sequência de montagem
- *Design for Excellence* (DFX)

DFSM - *Design for Serviceability and Maintainability*

O *Design for Serviceability and Maintainability* refere-se ao projeto orientado para a manutenção. Manutibilidade é a capacidade de um equipamento poder sofrer uma intervenção

de manutenção ou reparação de uma forma fácil, económica e eficiente (FitzGerald 2001).

O DFSM pretende desenvolver um produto que apresente facilidade de manutenção e serviços durante a sua vida de funcionamento. Os custos de manutenção de um equipamento podem causar insatisfação do cliente, e por esta razão, deve ser abordado o tema durante o desenvolvimento do projeto do equipamento (Barbosa 2007; FitzGerald 2001).

A Figura 17 mostra que um projeto tem maior flexibilidade e menores custos de alterações na sua fase de conceção, à medida que o produto se aproxima da etapa de produção ocorre o inverso, a flexibilidade diminui e os custos aumentam.

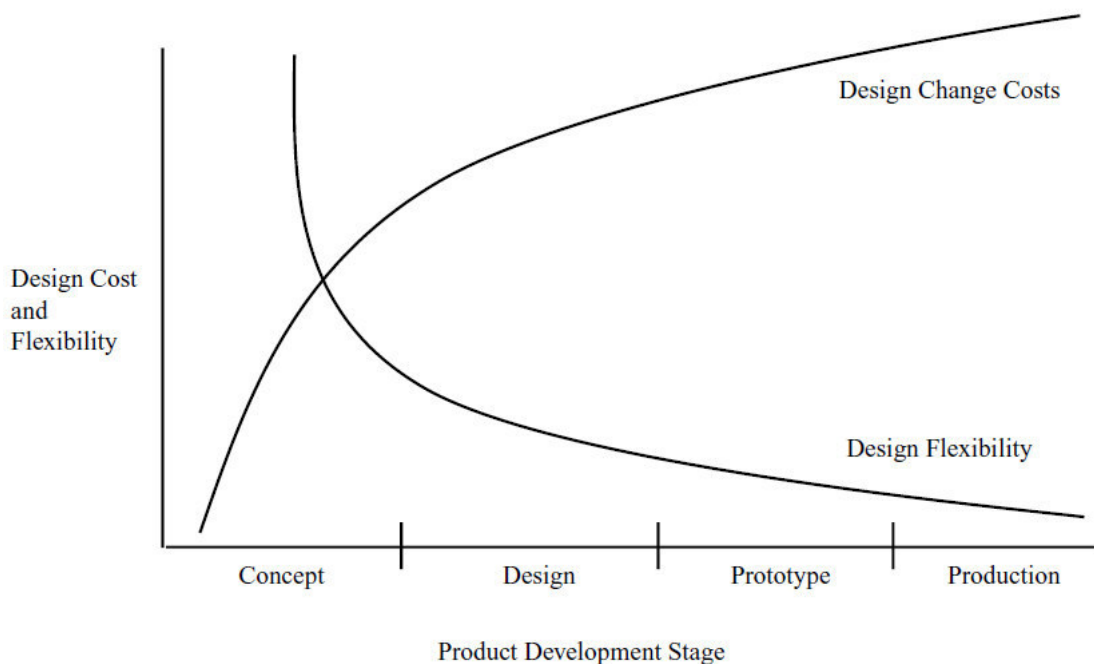


Figura 17 - Fase do produto versus custos/flexibilidade (FitzGerald 2001)

O DFSM abrange as medidas a tomar para reduzir tempos e os recursos a utilizar para manter o equipamento em bom funcionamento. Os benefícios que podemos retirar de um bom DFSM passam por uma redução de custos por falta de disponibilidade do equipamento em manutenção, redução de custos na manutenção, redução de peças em *stock*, redução de ferramentas e um prolongar do ciclo de vida dos equipamentos.

O projeto de um qualquer equipamento, utilizando os métodos de DFM e DFA, simplifica o produto e ao mesmo tempo, como consequência, beneficia a manutenção. No entanto, pode não ser suficiente para resolver problemas de manutenção do produto, o que torna necessário a aplicação de princípios específicos para esta finalidade (Barbosa 2007).

O DFSM deve envolver o projetista e o operador com o objetivo de identificar e classificar quanto à importância dos requisitos de manutenção, aumentar a disponibilidade do equipamento e diminuir o tempo de manutenção, aumentar a satisfação do cliente, diminuir os

encargos com logística e custos de ciclo de vida (FitzGerald 2001).

A fiabilidade de cada equipamento está intimamente ligada com a manutenção, quanto mais fiável for um equipamento menor serão as vezes que a equipa de manutenção terá de intervir para resolver uma eventual avaria.

As linhas orientadoras do DFMS (Mulder *et al.* 2013) são:

- Materiais que evitem as atividades de manutenção;
- Componentes *standards*;
- Operador do equipamento capacitado para realizar a manutenção;
- Espaço nas zonas envolventes aos pontos de manutenção;
- Acessibilidade aos pontos de manutenção;
- Proximidade dos pontos de manutenção;
- Equipamentos só com uma posição de montagem;
- Componentes regularmente substituídos de fácil manuseio;
- Sistemas modulares;

Adequando o DFMS a cada área de atuação e caracterizando-o individualmente, ao dar-se atenção ao aspeto da manutibilidade conseguir-se-á a redução de custos, sustentabilidade e uma melhor imagem perante o mercado.

DFX - Design for Excellence

Como um dos frutos da globalização, a competitividade do mercado gerou a procura pela diminuição dos custos nas áreas produtivas e o aumento de produtividade.

Com este imperativo os fabricantes de equipamentos ficam obrigados a garantir equipamentos de alta qualidade aos seus clientes, correndo o risco, caso isso não se verifique, de insucesso mais cedo ou mais tarde (Barbosa 2007; Barbosa 2012; Costa *et al.* 2013; Kušar *et al.* 2010; Lehto *et al.* 2011).

Surgiu o *Design for Excellence* que é definido como sendo uma metodologia desenvolvida para estabelecer regras, procedimentos e métodos, de modo a guiar projetistas para um produto que satisfaça todos os requisitos esperados pelo mercado consumidor (Barbosa 2007; Barbosa 2012; Lehto *et al.* 2011).

O DFX tem o foco sempre direcionado na redução dos custos produtivos, aumento de produtividade, melhoria da qualidade, fatores ocupacionais de saúde e ergonomia, ganhos em manutenção, simplicidade e facilidade de operação, com o menor custo possível (Barbosa 2012; Lehto *et al.* 2011).

Pode dizer-se que o DFM e o DFA completam-se e formam o DFMA, enquanto o DFX está no centro dessa e outras metodologias. A Figura 18 mostra a abrangência de áreas de trabalho que envolvem o DFX. Pode-se concluir que o DFX é o centro de todas as metodologias, por outras palavras, a excelência é o alvo a atingir com a implementação das várias metodologias.

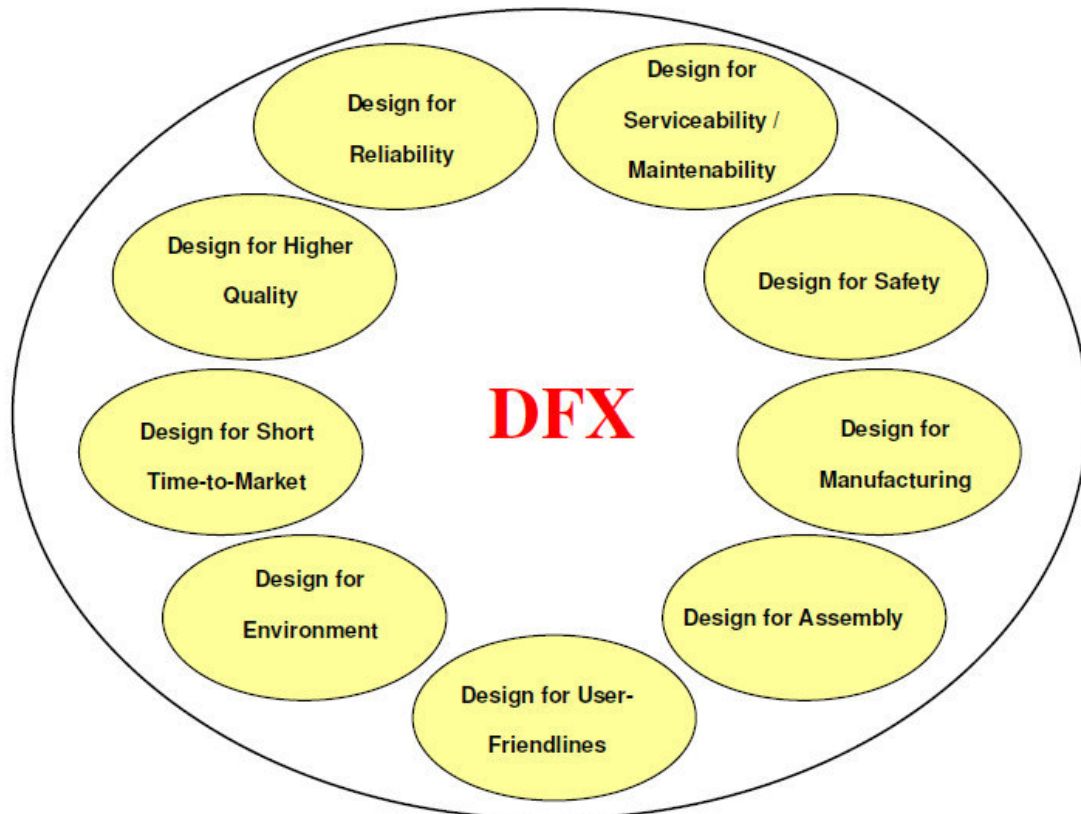


Figura 18 - DFX - *Design for excellence* (Barbosa 2012)

MTM – *Methods Time Measurement*

Podemos definir MTM como o procedimento que analisa operações ou métodos manuais para os converter em movimentos básicos que podem ser melhorados, e atribui a cada um tempo pré-determinado com base no movimento e condições ambientais (Auburn 2007; Silva 2007; MTM Portugal 2009; MTM 2014).

A Tabela 4 mostra como pode ser dividido e classificado, conforme a sua especificidade, cada movimento realizado durante o trabalho.

Tabela 4 – Classificação dos movimentos de trabalho (Auburn 2007)

Tipo	Movimento		
	Efetivo / produtivo	Alcançar	Pegar
Mover		Usar	Pré-Posicionar
Montar		Desmontar	
Inefetivo / Não produtivo	Procurar	Selecionar	Inspecionar
	Posicionar	Atraso inevitável	Atraso evitável
	Planear	Segurar	Descansar

Frederic W. Taylor realizou uma verdadeira racionalização do trabalho operário sendo que o instrumento para realizá-lo era o estudo de tempos e movimentos (*motion – time study*). Taylor verificou que o trabalho pode ser executado mais rapidamente e com melhor qualidade se for realizada uma análise do trabalho, isto é, divisão e subdivisão de todos os movimentos necessários à execução de cada operação de uma tarefa (Sugai 2003; Silva 2007).

A MTM – *Association* divide em famílias a metodologia MTM conforme a sua melhor aplicabilidade, essa divisão pode-se confirmar na Tabela 5.

Tabela 5 – Divisão das famílias MTM (MTM 2014)

Sistema	Descrição
MTM	Sistema genérico que procura medir as atividades de trabalho em qualquer ambiente.
MTM-1®	Sistema básico que todos os modelos MTM seguem. Sistema mundialmente utilizado que determina o tempo necessário para desenvolver uma operação analisando os movimentos manuais requeridos e atribuindo tempos a cada. Sistema indicado para ambientes com altos volumes de produção.
MTM-UAS®	Sistema de segunda geração partindo do MTM-1 desenvolvendo-se para movimentos padrões. Sistema indicado para produções em lotes.
MTM-MEK®	Sistema de terceira geração partindo do MTM-1, é indicado para medidas de pequenos lotes ou para produções de um tipo de produto.
The 4M® System	Sistema de segundo nível utilizado para transmitir informações do MTM-1 ao <i>software</i> MTM-Link utilizado no método de análise e desenvolvimento <i>Standard</i> . Indicado para produções de longa duração.
MTM-B™	Sistema de terceira geração baseado no MTM-UAS. Sistema desenvolvido como ferramenta de estimativa com o foco na velocidade de aplicação. MTM-B™ é oferecido como um módulo do <i>software</i> MTM-Link onde a aplicação manual não é suportada.

A Figura 19 mostra os movimentos básicos do MTM, são as operações chegar, agarrar, mover, posicionar e largar que têm de ser definidas e quantificadas para se tirarem as conclusões necessárias de cada processo em estudo.

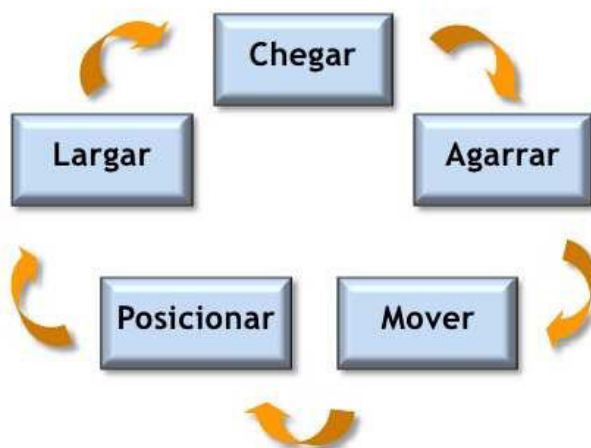


Figura 19 - Movimentos básicos do MTM (MTM Portugal 2009)

O MTM tem outros movimentos que, para tornar o processo mais específico, podem ser indicados tais como Alcançar, Movimentar, Girar e Aplicar Pressão, Agarrar, Soltar, Posicionar, Desmontar, Movimentos do Corpo, Perna e Pés, Tempo de Movimentação do Olhos e Focalização e Movimento de Manivela (Santos 2014).

No método MTM, os valores de tempo dos movimentos básicos têm como unidade de medida o TMU (*Time Measurement Unit*), na Tabela 6 podem-se encontrar os valores de conversão.

Tabela 6 - Unidades de conversão de tempo (Silva 2007; Sugai 2003; Auburn 2007)

Unidade de tempo			
TMU	Segundo	Minutos	Horas
1	0.036	0.0006	0.00001
27.8	1		
1666.7		1	
100000			1

2.3 Legislação aplicável

Todo o fabricante de equipamentos deve cumprir todas as normas básicas para que a segurança do homem e da máquina seja assegurada de forma inequívoca. As normas básicas contêm declarações importantes sobre a conceção, estratégia e forma de trabalho para a segurança de máquinas e instalações.

Os produtos fabricados em conformidade com as normas harmonizadas beneficiam da presunção de conformidade com os requisitos essenciais correspondentes (Gomes *et al.* 2013).

Diretiva máquina – 2006/42/CE

A diretiva 2006/42/CE, de 17 de Maio, vulgarmente conhecida como “Diretiva Máquinas”, tem como objetivo regulamentar a colocação no mercado e a entrada em serviço das máquinas novas. Esta diretiva foi transposta para o direito interno português, pelo Decreto-Lei n.º 103/2008, de 24 de Junho e define um conjunto de obrigações do fabricante, sendo de destacar a implementação dos requisitos essenciais de saúde e segurança, a emissão da declaração CE de conformidade, a aposição da marcação CE, a constituição do processo técnico da máquina e o exame CE de Tipo obrigatório para as máquinas referidas no Anexo IV do referido diploma (Soares 2008; Gomes *et al.* 2013).

O Decreto-Lei n.º 103/2008 define as responsabilidades que o fabricante deve ter antes de colocar uma máquina no mercado. É da responsabilidade do fabricante assegurar que seja efetuada uma avaliação dos riscos a fim de determinar os requisitos de saúde e de segurança que se aplicam à máquina. Em seguida, a máquina deverá ser concebida e fabricada tendo em

conta os resultados da avaliação dos riscos.

Através do processo iterativo de avaliação e redução dos riscos acima referido, o fabricante ou o seu mandatário deve (MEI 2008):

- Determinar as limitações da máquina, o que inclui a utilização prevista e a má utilização razoavelmente previsível;
- Identificar os perigos que podem ser originados pela máquina e as situações perigosas que lhes estão associadas;
- Avaliar os riscos, tendo em conta a gravidade de eventuais lesões ou agressões para a saúde e a probabilidade da respetiva ocorrência;
- Avaliar os riscos com o objetivo de determinar se é necessária a sua redução, em conformidade com o objetivo do presente decreto-lei;
- Eliminar os perigos ou reduzir os riscos que lhes estão associados, através da aplicação de medidas de proteção, pela seguinte ordem de prioridades:
 - Eliminar ou reduzir os riscos, na medida do possível (integração da segurança na conceção e no fabrico da máquina);
 - Tomar as medidas de proteção necessárias em relação aos riscos que não possam ser eliminados;
 - Informar os utilizadores dos riscos residuais devidos à não completa eficácia das medidas de proteção adotadas, indicar se é exigida uma formação específica e assinalar se é necessário disponibilizar equipamento de proteção individual.

Diretiva de baixa tensão – 2006/95/CE

Todos os equipamentos que tenham material elétrico destinado a ser utilizado dentro de certos limites de tensão (baixa tensão) também devem seguir as diretrizes normativas.

A diretiva abrange todos os riscos resultantes da utilização de equipamentos elétricos, incluindo não apenas os elétricos, mas também mecânicos, químicos entre outros.

A diretiva abrange também aspetos de saúde relativos a ruído, vibrações, e aspetos ergonómicos sempre haja necessidade de proteger, contra eventuais perigos, a ergonomia requerida (Montoya 2012; Europeu 2006).

Diretiva da compatibilidade eletromagnética - 2004/108/CE

A compatibilidade eletromagnética é a capacidade do equipamento para funcionar satisfatoriamente no seu ambiente eletromagnético sem introduzir perturbações eletromagnéticas intoleráveis a outro equipamento nesse ambiente. A proteção contra

perturbações eletromagnéticas requer a imposição de obrigações aos vários operadores económicos (IPQ 2014a).

Marcação CE

A Marcação CE é a certificação que um produto está em conformidade com a legislação europeia e com as normas europeias harmonizadas, deste modo, podendo ser comercializado livremente na Comunidade Europeia.

Através da afixação da marcação CE num produto, o fabricante declara, sob a sua exclusiva responsabilidade, a conformidade desse produto com todos os requisitos legais necessários à obtenção da marcação (IPQ 2014b).

Deve ser consultada a lista de diretivas para verificar as categorias de produtos abrangidos por esta marcação. A serra de dreno deve respeitar as diretivas e normas harmonizadas para que se possa colocar a marcação CE necessária e exigida. São várias as normas harmonizadas com aplicabilidade na serra de dreno, áreas como a segurança de máquinas, acústica, aparelhos de baixa tensão e sistemas de acionamento elétrico de potência a velocidade variável estão abrangidas por legislação específica.

A Figura 20 apresenta o fluxograma da certificação de conformidade, esta é da responsabilidade do fabricante ou do seu mandatário estabelecido no espaço económico europeu.



Figura 20 – Procedimento de certificação de conformidade (Gomes et al. 2013)

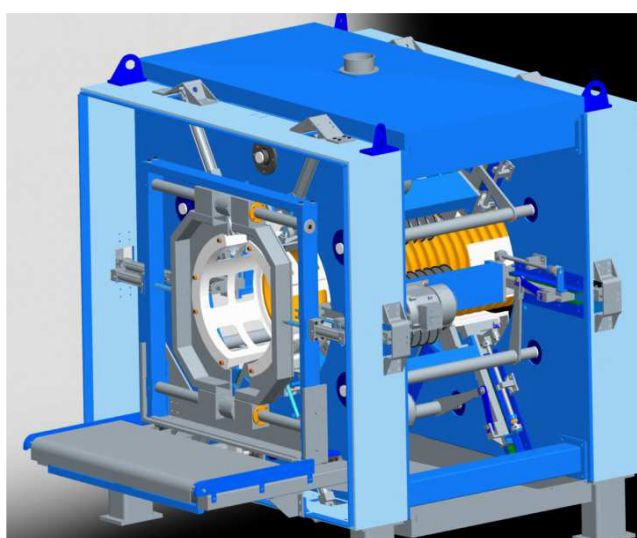
3. Caracterização do equipamento existente

Face aos problemas detetados no sistema mecânico da serra de dreno, existe a necessidade de implementar soluções que promovam a sua correção. Assim, nesta busca para resolução dos problemas dado equipamento existente, foram implementadas diversas metodologias de resolução de problemas.

Dos problemas demonstrados, destaca-se o método construtivo do sistema escolhido para realizar os cortes. Com a resolução deste problema, é expectável que outros vejam consequentemente reduzido o seu efeito ou mesmo eliminados. A Figura 21.a) e Figura 21.b) mostram, respetivamente, a serra de dreno real e o modelo CAD da mesma.



a) Serra de Dreno existente Periplast



b) Modelo CAD da Serra de Dreno

Figura 21 – Visualização da serra de dreno Periplast (Periplast 2014)

Para o desenvolvimento deste trabalho foi realizado o levantamento das empresas com equipamentos de características semelhantes em funcionamento e dos respetivos dados de referência de produção, troca de ferramentas, manutenção, problemas, funcionamento, entre outros junto dos próprios operadores dos equipamentos.

Com a experiência adquirida como projetista, o *know how* de marcas de referência e seguindo as várias indicações dos métodos científicos aplicáveis, conseguiram-se reunir as condições de execução para o desenvolvimento otimizado da serra de dreno.

3.1 Configuração e aspeto geral

A observação atenta da versão antiga da serra de dreno permitiu constatar estar-se perante uma máquina pesada, complexa, com muitas peças, ligações e componentes utilizados neste tipo de equipamento.

A Figura 22 mostra uma perspetiva 3D da serra de dreno explodida, onde se evidencia a quantidade de componentes do sistema de corte (Anexo A).

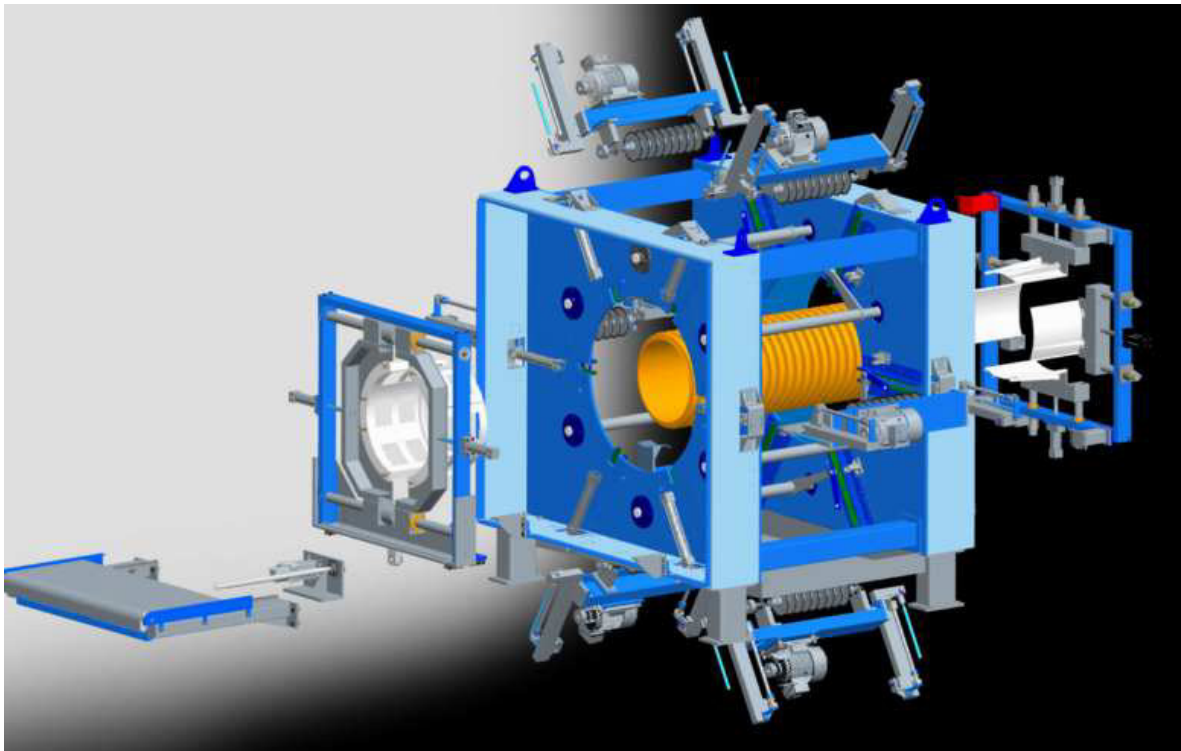


Figura 22 - Serra de Dreno - Vista explodida (Periplast 2014)

A consulta do seu histórico de manutenção mostra que foram registadas inúmeras vezes a ocorrência de falhas de funcionamento, por motivos diversos tais como; substituição de rolamentos gripados, discos de corte partidos, encravamentos, entre outros.

Com os problemas causados pela baixa eficiência, a qualidade e rigor dos cortes era reduzida, provocando assim, desperdício de matéria-prima por consecutivos desalinhamentos dos braços de corte. Mais uma vez, devido à falta de rigor do sistema de corte, para colocar a máquina em funcionamento eram necessárias numerosas afinações para que a máquina estivesse disponível para funcionar.

O nível de ruído produzido pelo equipamento apresentava valores bastante elevados colocando em risco o operador que tem como valor limite de exposição, permitido por lei, os 87dBs (MTSS 2006).

O trabalho desenvolvido está focado na resolução de alguns dos problemas que foram identificados. Foi dado um enfoque especial no sistema de corte, dado ter-se registado que a

máquina tinha problemas funcionais que prejudicavam a rapidez e segurança das operações de trabalho.

Na Tabela 7 estão identificados, resumidamente, os problemas estruturais do equipamento anterior e as soluções propostas para corrigir, anular e/ou minimizar os mesmos problemas.

Tabela 7 - Problemas versus soluções – Aspeto estrutural

	Problemas identificados	Solução apresentada
Aspeto estrutural	Máquina muito pesada, constituída por muitas peças. Braços dos discos de corte muito pesados, constituídos por muitas peças.	Realização de uma profunda reengenharia tendo como resultados a redução do número de peças e revisão das suas dimensões.

3.2 Desempenho e funcionamento

O desempenho da versão antiga da serra de dreno não foi o expectável fruto das constantes paragens necessárias para reposicionar os discos de corte, a falta de rigor nos rasgos do tubo, a difícil manutenção e o tempo gasto em todas estas operações, resultando nas principais razões que levaram a um resultado insatisfatório.

A dificuldade de colocar a serra em funcionamento verificou-se devido à difícil afinação dos discos de corte. A serra era composta por seis braços de corte independentes, sendo o seu movimento realizado por ação de cilindros pneumáticos atuando nas extremidades de cada braço. Cada conjunto de discos de corte era acionado por intermédio de um motor elétrico atuando por meio de uma simples transmissão por correia dentada. Para se conseguir ter os discos de corte devidamente alinhados e para que os cortes ficassem no mesmo alinhamento perimetral do tubo, despendia-se muito tempo em operações de afinação. Em cada ação de intervenção, para colocar a serra em fabrico, eram despendidas cerca de 4 a 5 horas em que a máquina estava forçosamente parada.

Verificou-se um constante desalinhamento nos discos de corte, quando a serra estava em funcionamento, o que provocava a falta de precisão dos cortes. Esta situação resultava da construção mecânica do sistema de movimentação dos braços de corte, dado que não estavam guiados de forma linear.

A Figura 23 mostra a forma de movimento de avanço e recuo dos braços dos discos de corte, evidenciando a falta de total guiamento durante o mesmo.

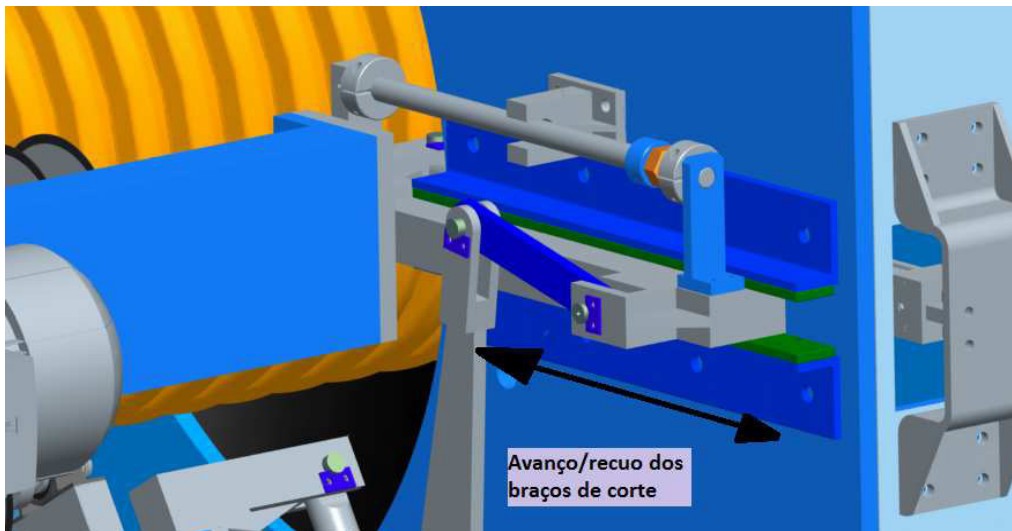
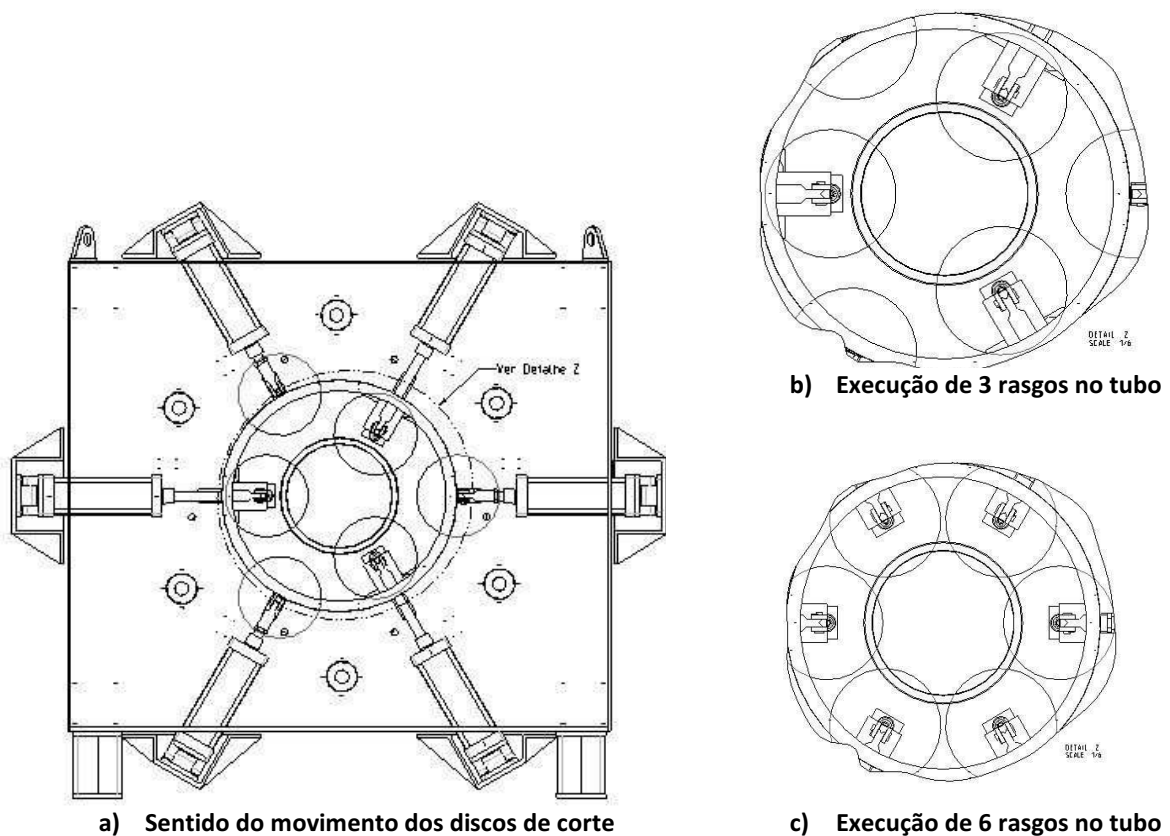


Figura 23 - Detalhe do movimento de corte (Periplast 2014)

A constante gripagem dos rolamentos obrigava o operador a realizar manutenções corretivas excessivas, o que indicava uma seleção incorreta, nomeadamente, pela existência de cargas axiais não previstas no dimensionamento.

A Figura 24.a) mostra o sentido do movimento realizado pelos discos de corte na execução dos rasgos no tubo, a Figura 24.b) e Figura 24.c) mostram a ação dos discos na situação de 3 e 6 rasgos no tubo respetivamente.



a) Sentido do movimento dos discos de corte

b) Execução de 3 rasgos no tubo

c) Execução de 6 rasgos no tubo

Figura 24 – Movimento dos discos de corte na execução dos rasgos (Periplast 2014)

Com este modo construtivo é impossível executar os seis rasgos em toda a gama de diâmetros de tubo devido ao perigo dos discos colidirem uns nos outros. Os rasgos eram realizados por avanço dos discos de corte em direção ao eixo do tubo e o seu comprimento era conseguido através da penetração radial dos discos de corte no tubo. Para maiores comprimentos de rasgos maior o avanço dos discos, do mesmo modo que, para maiores comprimentos de rasgos a necessidade de diâmetros de discos maiores.

Com a alteração do princípio mecânico de funcionamento do corte, juntando o redimensionamento de todo o espaço envolvente da zona de corte, a redução da quantidade do número de componentes, é expectável a redução/eliminação destes problemas. É pretendido obter-se um novo equipamento fiável e funcional para que a produtividade aumente e a qualidade do produto final seja efetiva.

Na Tabela 8 estão identificados, resumidamente, os problemas de funcionamento do equipamento anterior e as soluções propostas para corrigir, anular e/ou minimizar os mesmo problemas relativos ao seu desempenho de funcionamento. Os mesmos problemas podem afetar tanto a eficiência como a fiabilidade do equipamento.

Tabela 8 - Problemas versus soluções - Funcionamento

	Problemas identificados	Solução apresentada
Fiabilidade, eficiência e segurança	Movimento lento e não uniforme.	Movimento preciso e constante devido ao correto dimensionamento seguindo os valores de referência, alteração do modelo construtivo.
	Máquina muito pesada, constituída por muitas peças. Braços dos discos de corte muito pesado, constituída por muitas peças.	Realização de uma profunda reengenharia com resultados na redução do número de peças e dimensões. Conjuntos mais leves.
	Deformação do veio dos discos de corte e descalibragem.	Veio com menor comprimento e distribuição homogénea dos discos de corte.
	Deslocação da posição dos discos de corte.	Discos de corte sempre bem posicionados.
	Alinhamento individual dos discos de corte.	Ligação mecânica não permitindo desalinhamentos.
	Tempo elevado de troca de ferramentas.	Mudança de ferramentas rápida e fácil devido à alteração construtiva do veio dos discos de corte.
	Motores com sujidade.	Motores fora da câmara de corte sem estarem em contato com sujidades.
	Rolamentos com pouco tempo de vida.	Boa seleção dos rolamentos.

3.3 Processo de montagem

A montagem da serra de dreno antiga era um processo demorado e complexo devido à quantidade de peças e conjuntos de peças necessários para que a serra estivesse disponível para o fim que tinha sido fabricada. Na Figura 25 pode-se ver a quantidade de peças necessárias para a montagem de um conjunto de discos de corte.

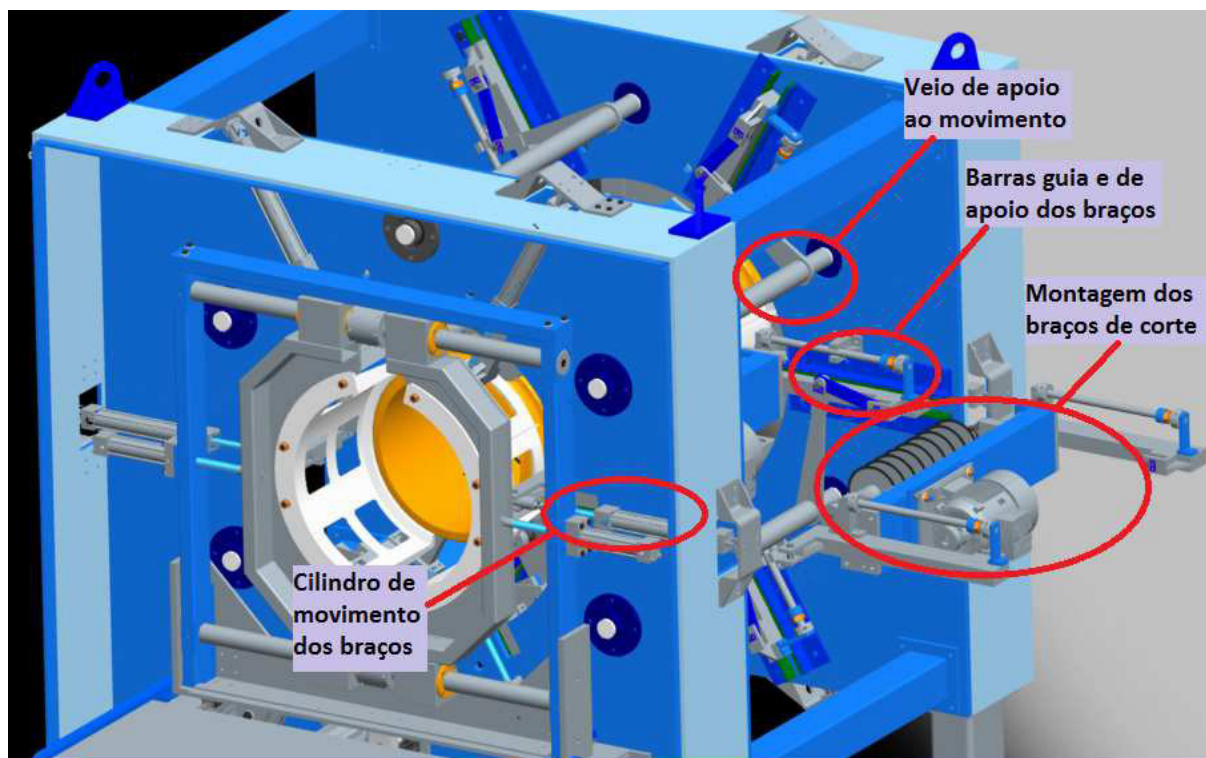


Figura 25 - Montagem de um braço de discos de corte (Periplast 2014)

Na Figura 25 pode-se verificar onde estão apoiados os braços dos discos de corte e, constatar que o seu movimento de avanço/recuo não é totalmente constrangido, desta forma, dificilmente se consegue um movimento linear retilíneo, condição necessária e facilitadora para o alinhamento dos discos de corte. Na mesma Figura 25 pode-se ver a existência de veios que servem para guiar e ajudar o movimento de avanço/recuo dos braços dos discos de corte, estes veios tinham como objetivo ajudarem os braços a realizar um movimento perpendicular com o tubo, evitando a ocorrência de desalinhamentos e torsões dos braços, situação que não se verificou, resultando em movimentos desalinhados, que por sua vez, provocavam rasgos irregulares no tubo.

Na Figura 26 é apresentado um conjunto dos braços dos discos de corte, os 148 componentes que fazem parte integrante deste subconjunto da serra de dreno. A serra de dreno é composta por seis conjuntos iguais a este. Cada conjunto destes pesava cerca de 200kg. A geometria de diversas peças e o peso das mesmas também foram fatores de acréscimo de dificuldades, quer na movimentação quer na montagem. A serra de dreno era composta por seis braços de corte independentes, na fase da montagem, ajustar e calibrar os braços entre si foi igualmente um trabalho bastante minucioso

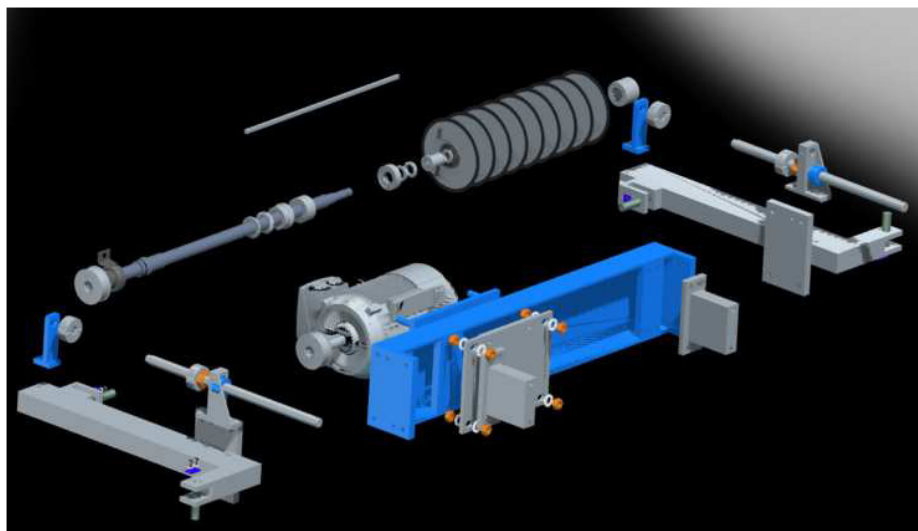


Figura 26 - Composição de um braço de discos de corte (Periplast 2014)

3.4 Manutibilidade e fiabilidade

A manutenção da serra de dreno era uma operação que requeria muito tempo, o que prejudicava a sua eficiência e fiabilidade.

Na Tabela 9 estão identificados, resumidamente, os problemas do equipamento anterior e as soluções propostas para corrigir, anular e/ou minimizar os mesmo problemas relativos à sua manutibilidade e fiabilidade.

Tabela 9 - Problemas *versus* soluções – Manutibilidade e fiabilidade

	Problemas identificados	Solução apresentada
Manutibilidade e fiabilidade	Movimento lento e não uniforme.	Movimento preciso e constante devido ao correto dimensionamento seguindo os valores de referência, alteração do modelo construtivo.
	Máquina muito pesada, constituída por muitas peças.	Realização de uma profunda reengenharia com resultados na redução do número de peças e dimensões. Conjuntos mais leves.
	Braços dos discos de corte muito pesado, constituída por muitas peças.	
	Deformação do veio dos discos de corte e descalibragem.	Veio com menor comprimento e distribuição homogénea dos discos de corte.
	Deslocação da posição dos discos de corte.	Discos de corte sempre bem posicionados.
	Alinhamento individual dos discos de corte.	Ligação mecânica não permitindo desalinhamentos.
	Tempo elevado de troca de ferramentas.	Mudança de ferramentas rápida e fácil devido à alteração construtiva do veio dos discos de corte. Redução de operações a desenvolver.
	Motores com sujidade.	Motores fora da câmara de corte sem estarem em contato com sujidades.
	Rolamentos com pouco tempo de vida.	Boa seleção dos rolamentos.
	Manutenção difícil e perigosa.	Manutenção fácil e segura com acessibilidade aos disco e redução de operações a realizar.
Nível de ruído elevado	Redução do número de braços, número de lâminas e isolamento acústico da câmara de corte.	

A disponibilidade para funcionar na altura necessária estava condicionada. Este problema

verificava-se devido ao elevado número de peças constituintes da serra bem como as suas dimensões, assim como os pesos elevados a dificultarem a sua movimentação ou substituição. A manutenção preventiva e corretiva, frequentemente necessária, face a todos os problemas já enumerados, por vezes, colocavam em risco a segurança dos operadores. O peso das peças e a sua localização dificultavam a realização de uma manutenção isenta de riscos.

3.5 Troca de ferramentas

O processo de troca de ferramentas, dada a quantidade de peças a remover, o peso dos conjuntos e o espaço disponível para realizar esta operação, verificou-se ser uma operação difícil, morosa e que colocava em perigo a segurança dos operadores do equipamento. Em cada ação de troca de discos de corte, para colocar a serra a cortar tubo de diâmetro diferente. A realização da operação de troca de discos de corte envolvia a alocação de dois operadores com o tempo total de 8 horas, um turno, contabilizando em tempo gasto na operação eram despendidas cerca de 16 horas/homem.

Na Figura 27 é apresentado o conjunto do veio dos discos de corte quando é retirado para a realização da sua troca.

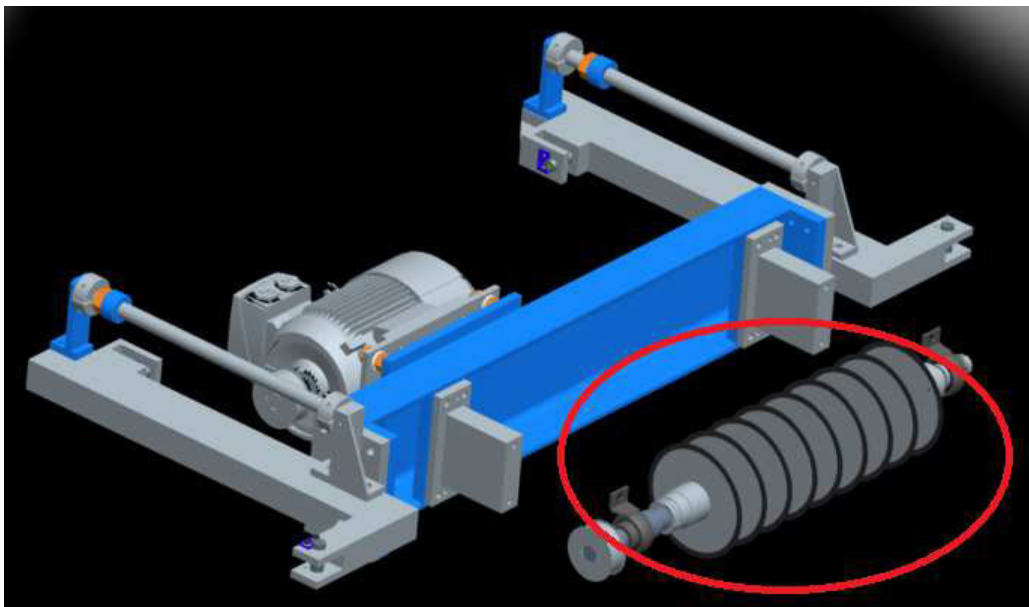


Figura 27 - Troca de discos de corte (Periplast 2014)

Em cada operação de troca de discos, eram necessários dois operadores e repetiam as operações de substituição por seis vezes, ou seja, tantas quanto o número de braços de discos de corte. Depois de retirar a correia, libertar as chumaceiras teriam que suportar um veio de lâminas que pesava cerca de 20kg, situação de manuseio difícil devido ao acesso condicionado.

Na Tabela 10 estão identificados, resumidamente, os problemas do equipamento anterior e as

soluções propostas para corrigir, anular e/ou minimizar os mesmos problemas relativos à troca de ferramentas.

Tabela 10 - Problemas versus soluções – Troca de ferramentas

	Problemas identificados	Solução apresentada
Tempos de <i>setup</i> e custos	Máquina muito pesada, constituída por muitas peças. Braços dos discos de corte muito pesados, constituída por muitas peças.	Realização de uma profunda reengenharia com resultados na redução do número de peças e dimensões. Conjuntos mais leves.
	Tempo elevado de troca de ferramentas.	Mudança de ferramentas rápida e fácil devido à alteração construtiva do veio dos discos de corte.
	Manutenção difícil e perigosa.	Manutenção fácil e segura com acessibilidade aos disco e redução de operações a realizar.

3.6 Segurança

A segurança esteve sempre ameaçada no modelo antigo da serra de dreno. Durante a produção, com o perigo dos discos de corte colidirem entre si no movimento de avanço, e durante a manutenção quando o operador tinha de mudar os discos de corte.

Na Tabela 11 estão identificados, resumidamente, os problemas do equipamento anterior e as soluções propostas para corrigir, anular e/ou minimizar os mesmos problemas relativos à sua segurança.

Tabela 11 - Problemas versus soluções – Segurança

	Problemas identificados	Solução apresentada
Segurança e ruído	Manutenção difícil e perigosa.	Manutenção fácil e segura com acessibilidade aos disco e redução de operações a realizar.
	Movimento lento e não uniforme.	Movimento preciso e constante devido ao correto dimensionamento seguindo os valores de referência, alteração do modelo construtivo.
	Máquina muito pesada, constituída por muitas peças. Braços dos discos de corte muito pesados, constituída por muitas peças.	Realização de uma profunda reengenharia com resultados na redução do número de peças e dimensões. Conjuntos mais leves.
	Deformação do veio dos discos de corte e descalibrados.	Veio com menor comprimento e distribuição homogénea dos discos de corte.
	Deslocação da posição dos discos de corte.	Discos de corte sempre bem posicionados.
	Alinhamento individual dos discos de corte.	Ligação mecânica não permitindo desalinhamentos.
	Tempo elevado de troca de ferramentas.	Mudança de ferramentas rápida e fácil devido à alteração construtiva do veio dos discos de corte.
	Motores com sujidade.	Motores fora da câmara de corte sem estarem em contato com sujidades.
	Nível de ruído elevado.	Redução do número de braços, número de lâminas e isolamento da câmara de corte.

O novo equipamento de corte deverá estar munido de todos os requisitos de proteção exigidos

por lei tendo em atenção a segurança dos operadores bem como do próprio equipamento. Os níveis de ruído registados na serra de dreno estavam acima do que é permitido colocando em risco a saúde dos operadores do equipamento, bem como de todos os funcionários nas proximidades.

3.7 Custos

Na serra de dreno, tal como, já foi descrito foram registados vários problemas que forçaram ao aumento de custos. Custos de fabrico, montagem, funcionamento, manutenção e segurança.

Por todas as razões, reduzir os custos de fabrico, é o objetivo de qualquer fabricante de qualquer área de atividade económica, mesmo não sendo o principal objetivo, pois as melhorias poderiam compensar o investimento, a redução de custos é um tema que tem sempre a sua relevância.

Na Tabela 12 estão identificados, resumidamente, os problemas do equipamento anterior e as soluções propostas para corrigir, anular e/ou minimizar os mesmo problemas relativos aos custos.

Tabela 12 - Problemas *versus* soluções – Custos

	Problemas identificados	Solução apresentada
Custos	Manutenção difícil e perigosa.	Manutenção fácil e segura com acessibilidade aos disco e redução de operações a realizar.
	Movimento lento e não uniforme.	Movimento preciso e constante devido ao correto dimensionamento seguindo os valores de referência, alteração do modelo construtivo.
	Máquina muito pesada, constituída por muitas peças. Braços dos discos de corte muito pesado, constituída por muitas peças.	Realização de uma profunda reengenharia com resultados na redução do número de peças e dimensões. Conjuntos mais leves.
	Deformação do veio dos discos de corte e descalibrados.	Veio com menor comprimento e distribuição homogénea dos discos de corte.
	Deslocação da posição dos discos de corte.	Discos de corte sempre bem posicionados.
	Alinhamento individual dos discos de corte.	Ligação mecânica não permitindo desalinhamentos.
	Tempo elevado de troca de ferramentas.	Mudança de ferramentas rápida e fácil devido à alteração construtiva do veio dos discos de corte.
	Rolamentos com pouco tempo de vida.	Boa seleção dos rolamentos.
	Nível de ruído elevado	Redução do número de braços, número de lâminas e isolamento da câmara de corte. Equipamentos de segurança individuais.
	Tempos de corte elevado, taxa de rejeição elevada	Reengenharia tornando o equipamento funcional e eficiente

3.8 A importância de cada aspeto funcional

A importância que cada interveniente dá às várias vertentes relacionadas com os equipamentos industriais pode variar dependendo da sua área de atuação. O operador, o comercial, o financeiro ou o empresário têm graus de importância perante os pontos-chave do equipamento, por serem todos importantes na avaliação do equipamento, o fabricante deve ser conhecedor de quais são esses pontos. Com a finalidade de avaliar os pontos mais importantes foi realizado um inquérito aos mais diversos interessados em equipamentos industriais.

Foi solicitado a 198 entidades para responder, numa escala de 0 a 100 qual a importância que davam aos seguintes aspetos: eficiência, fiabilidade, segurança, tempos de *setup*, manutenção, custos de manutenção, ruído e preço. Dos 198 inquéritos enviados houve 58 respostas o que dá uma percentagem de resposta de 29%. Foi também caracterizada a escala de importância, a Tabela 13 mostra os valores a atribuir consoante o grau de importância dos vários pontos do inquérito.

Tabela 13 - Caracterização da escala do inquérito

Pouco importante	0 - 60
Importante	61 - 80
Muito importante	81 - 90
Imprescindível	91 - 100

No Anexo B encontram-se todos os resultados do inquérito, na Figura 28 encontram-se os resultados recolhidos com o inquérito.

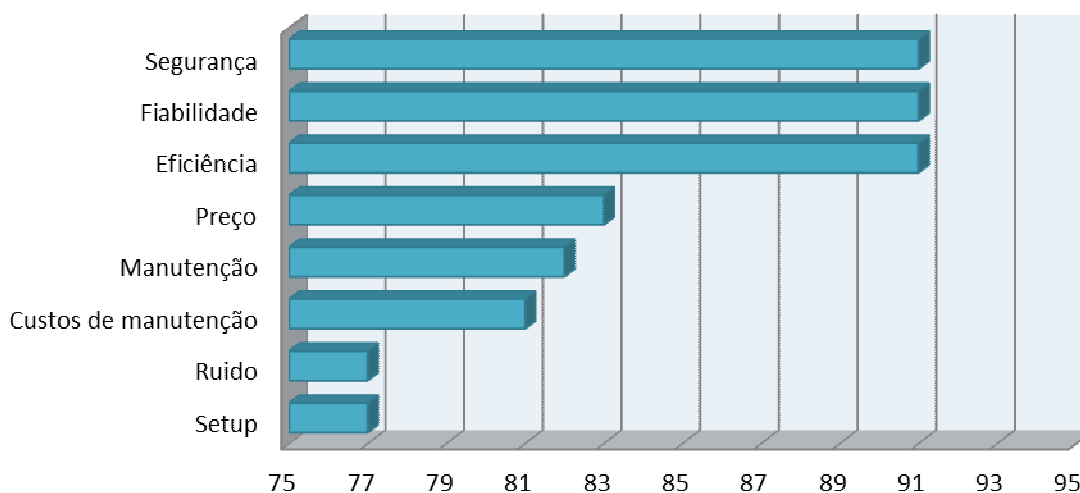


Figura 28 - Resultado do inquérito dos aspetos funcionais

Tal como era expectável, por serem pontos fulcrais ao equipamento, todos os pontos são considerados importantes, muito importante e alguns são mesmo imprescindíveis. É de realçar, com este inquérito, que os 3 pontos mais importantes para a generalidade dos

participantes do inquérito são a segurança, fiabilidade e a eficiência. A linha orientadora para este projeto foram estes mesmos pontos, assim os resultados de melhoria almejados vão ao encontro da esmagadora maioria que considera imprescindíveis tais atributos num equipamento industrial.

4. Reengenharia do equipamento

O processo de “Reengenharia” que foi executado é a componente principal no desenvolvimento deste trabalho, tendo sido baseada num equipamento existente, na procura de soluções de modo a otimizar o projeto para uma nova máquina.

Utilizando o *know how* adquirido como projetista mecânico, meios de CAD, estudo de outros equipamentos, com o apoio dos vários intervenientes do equipamento anterior, assim como, fabricantes e representantes de equipamentos, e seguindo as orientações das abordagens e filosofias aplicáveis como por exemplo: SMED, DFM, DFA, DFMA, DFSM, DFX, MTM e na observação atenta do antigo equipamento e equipamentos similares, pretende-se obter uma solução final que apresente melhores resultados a nível de fiabilidade, segurança, manutenção e custos.

A Figura 29 mostra o grau de importância que a fase de projeto tem no custo final do produto, facilmente se conclui que é da máxima importância a correta e criteriosa aplicação dos vários conceitos enumerados na fase de desenvolvimento do projeto.

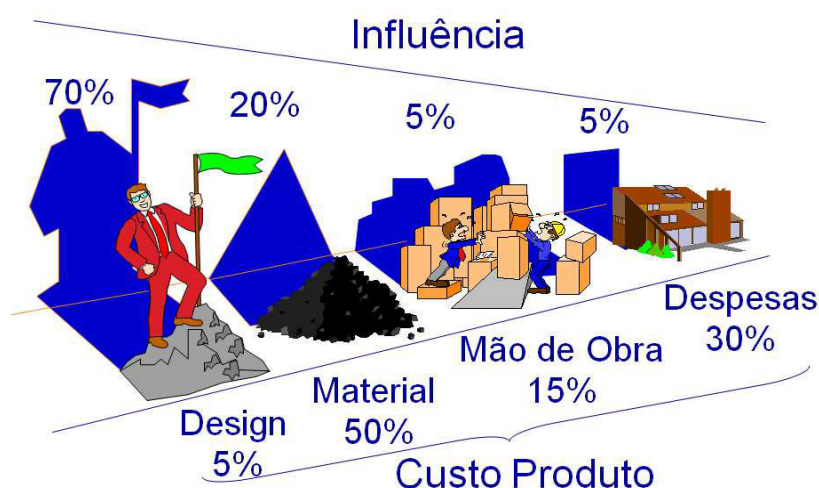


Figura 29 - Influência do projeto nos custos do produto (Sarmento 2009)

A pesquisa junto de fabricantes e representantes de discos de corte permitiu selecionar os discos de corte adequados para a função de corte no tubo corrugado. Os motores e servomotores indicados para a serra foram alvo de dimensionamento e seleção junto de representantes de motores elétricos. As visitas aos produtores de tubo corrugado, que possuem

equipamentos do mesmo género, permitiram uma consciencialização das reais necessidades requeridas para a alternativa que se pretendia encontrar.

Na Figura 30 são apresentadas as etapas de forma genérica que devem ser efetuadas até se obter um equipamento otimizado, sendo esse o objetivo pretendido.



Figura 30 - Etapas a cumprir até ao equipamento otimizado

São vários os sistemas de apoio computacional no auxílio aos projetistas, o CAD, o CAE ou o CAM são ferramentas utilizadas para o desenho, dimensionamento e análise de fabrico, contribuindo significativamente no desenvolvimento, redução de tempos e custos de todo projeto (Neto 2009). Neste projeto foi utilizado o Pro-Engineer® para desenho e projeto, o SolidWorks® para simulação, além de outros *softwares* facultados pelas próprias marcas para dimensionamento de peças e equipamentos como rolamentos, correias, motores e servomotores.

Com o DFSM a seleção e dimensionamento de rolamentos, motores ou correias, assim como a sua localização, vai condicionar a manutenção. O projeto geométrico de cada peça, o número de componentes, o tipo de material ou as dimensões e pesos facilitam ou dificultam a manutenção. Pode-se dizer que os custos constantes, para além do investimento inicial na compra do equipamento, serão maiores ou menores consoante o projeto seja mais ou menos preciso (FitzGerald 2001).

A Tabela 14 apresenta os vários critérios de referência da metodologia DFMA que são aplicados no presente trabalho de reengenharia.

Tabela 14 - Aplicação dos critérios do DFMA

Critério	Aplicado	Não aplicado
Minimização do número de peças	x	
Padronização de componentes	x	
Projeto de peças com características auto-fixadoras		x
Montagem empilhada ou unidirecional		x
Projetar peças com características de auto-localização	x	
Minimização de níveis de montagem	x	
Facilidade de manipulação de peças	x	
Projeto para estabilidade		x
Minimização da necessidade de ajustes	x	
Otimização da sequência de montagem	x	
<i>Design for Excellence (DFX)</i>	x	

No Anexo C podem-se encontrar desenhos técnicos de montagem e fabrico de componentes da serra agora proposta como alternativa à existente.

Sabendo que o DFX procura alcançar a redução de custos, prazos de entrega, aumentar a qualidade, eficiência, disponibilidade, flexibilidade, melhorar o fabrico, montagem e a cadeia de fornecimento, sem nunca descorar o aspeto ambiental (Lehto *et al.* 2011) o presente projeto, nos pontos a desenvolver, pretende ter os mesmos princípios como linha orientadora.

4.1 Simulação e otimização de peças

Para fazer face às solicitações e necessidades do mercado, é necessário a utilização de *softwares* de CAD e CAM, que para além da rapidez garantem a redução de custos de desenvolvimento, assim como, a antecipação de erros e problemas (Marques *et al.* 2013).

O projeto de peças simples irá facilitar a sua montagem, reduzir o tempo na montagem, minimizar a possibilidade de ocorrência de erros no fabrico e na montagem, reduzir os custos, reduzir a quantidade de peças e diminuir os custos de fabrico (Scur *et al.* 2013; Barbosa 2007).

Geoffrey Boothroyd afirma que os custos de fabrico podem ser reduzidos entre 20 e 40% e a produtividade na montagem pode aumentar entre 100 e 200% (Boothroyd & Dewhurst 1984). É de elevada importância colocar em prática os conceitos e indicações que o DFM, DFA ou DFMA propõem. Para tal, utilizando o *software* SolidWorks foi realizado o dimensionamento, simulação e otimização da peça de ligação do cilindro hidráulico aos braços de corte. A escolha desta peça para a simulação prende-se por ser a peça mais solicitada, logo a mais crítica e sensível a possíveis deformações.

Até se chegar a um resultado que se considera adequado à função foram realizadas várias simulações, para cada uma das simulações é criado um relatório com os diversos resultados da análise. O relatório completo da peça selecionada, peça em chapa de 10mm de espessura, pode ser encontrado no Anexo D.

Tendo a peça a analisar a sua geometria já definida na fase de projeto, esta inicialmente estava previsto que fosse fabricada em aço estrutural em chapa de 25mm. O aço escolhido para a peça a simular foi o S235JR que é um aço laminado a quente com as características indicadas na Tabela 15.

Tabela 15 - Propriedades mecânicas do material a utilizar

Densidade	7800 kg/m ³
Tensão de cedência	235 MPa
Tensão de rotura	360-510 MPa

Sabendo que a tensão de cedência do aço selecionado, para fabrico da peça em análise, é de 235MPa, aplicando um coeficiente segurança de 1.5, pretende-se que o valor da tensão de von Mises obtido na simulação seja inferior a 156MPa. A primeira simulação, a peça com chapa de 25mm de espessura, indicou que a tensão de von Mises estava bastante abaixo da tensão de cedência do aço escolhido, por este motivo foi-se reduzindo a espessura da chapa até esta estar otimizada e devidamente adequada à aplicação. Nas simulações seguintes fez-se a análise com chapa de 20, 15, 10, 8, 6, 5, 4 e 2mm, chapas existentes no mercado e de fácil aquisição. Há dois pontos que são de ter em atenção na otimização da chapa, a tensão que esta vai estar a sofrer por ação da força exercida pelo cilindro para avanço dos discos de corte e também toda a estrutura da máquina para que a peça esteja visualmente bem enquadrada com os restantes componentes.

É de todo importante precaver quaisquer ocorrências de falhas, para tal, e para efeitos de simulação, vai-se considerar uma carga que, numa situação real, seria a situação mais penalizadora de todo o sistema.

Os primeiros passos da simulação passam pela caracterização do sistema composto por 1 corpo sólido em aço estrutural S235JR, a Figura 31 indica a localização da peça onde está aplicada a carga de 9000N, força máxima exercida pelo cilindro hidráulico para realização do corte e os constrangimentos aplicados ao sistema. Esta peça será apertada com 4 parafusos de cabeça sextavada M16 ao braço de suporte dos discos de corte. A mesma Figura 31 ilustra o sistema depois de criada a malha de alta qualidade do sistema, operação necessária para a realização da simulação estática pretendida

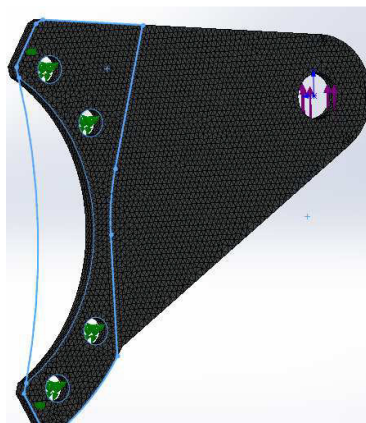


Figura 31 – Definição do sistema para simulação

O programa atribui automaticamente o tipo de malha apropriado aos corpos com base nas características da sua geometria. Todas as malhas de modelos sólidos com elementos sólidos são tetraédricas. A dimensão da malha do sistema foi definida como a mais fina que o *software* permite selecionar para que os resultados obtidos sejam o mais rigorosos quanto possíveis.

Depois de definido o sistema a simular, atribuídas as características mecânicas aos componentes, indicados os constrangimentos, aplicada a carga que irá atuar no conjunto, definida e criada a malha, então o sistema está pronto para ser analisado.

A Figura 32 apresenta os resultados obtido com a simulação realizada, na Figura 32.a) e Figura 32.b) estão dos resultados da tensão de von Mises e da deformação respectivamente. Estes valores são resultantes da simulação da peça com a chapa de 10mm de espessura. Os valores máximos obtidos são de 51,3MPa na tensão von Mises e 0,048mm de deformação.

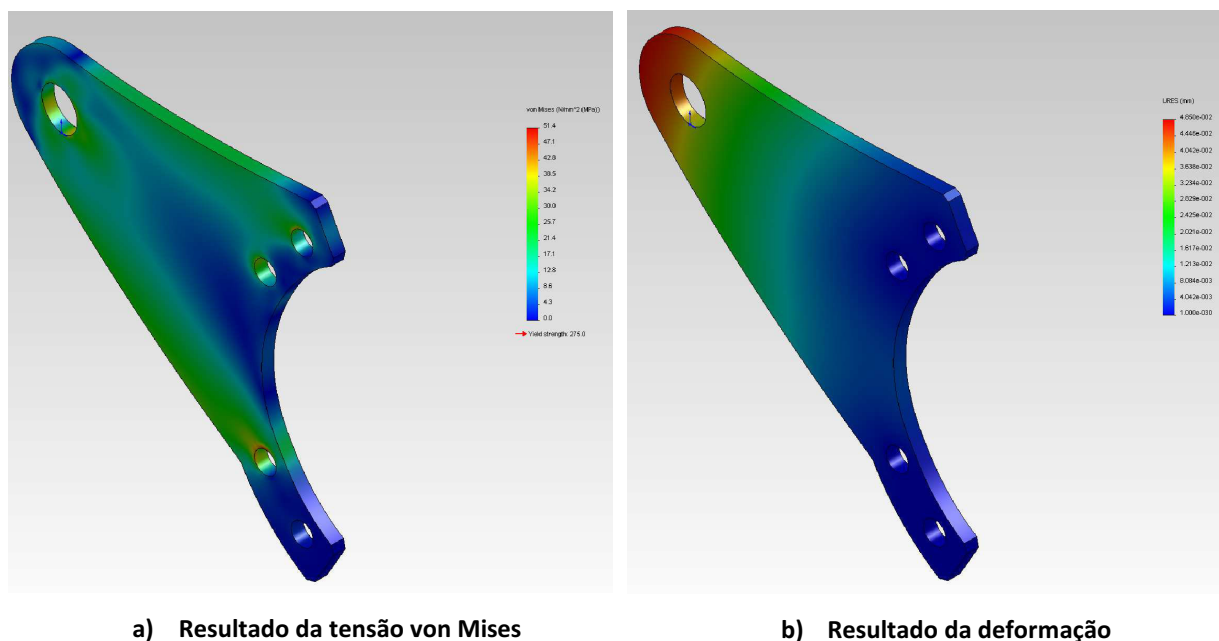


Figura 32 – Resultados da simulação com chapa de 10mm

A Tabela 16 apresenta os resultados das várias simulações realizadas com o objetivo de reduzir a espessura da chapa da peça que irá efetuar o movimento de avanço de corte da serra de dreno. Pode-se concluir que na aplicação para a qual esta peça está inserida o seu fabrico poderia ser realizado numa chapa de espessura menor sem que fosse deformar, no entanto para a serra de dreno vai ser escolhido o fabrico da peça em chapa de 10mm de espessura por toda a envolvente do sistema.

Tabela 16 - Resultados das simulações

	Tensão de von Mises [MPa]	Deformação [mm]
1ª Simulação (25mm)	21,9	0,019
2ª Simulação (20mm)	26,4	0,024
3ª Simulação (15mm)	35,3	0,032
4ª Simulação (10mm)	50,7	0,048
5ª Simulação (8mm)	62,2	0,060
6ª Simulação (6mm)	81,3	0,080
7ª Simulação (5mm)	96,9	0,097
8ª Simulação (4mm)	120,5	0,120
9ª Simulação (2mm)	227,2	0,240

4.2 Sistema de corte

O sistema de corte que se projetou, no seu modo construtivo, é totalmente diferente do modelo antigo da serra de dreno. Depois de se estudar a primeira versão da serra de dreno conclui-se que era no modelo construtivo onde residia o maior problema e daí eram originados outros problemas.

A solução inicial da serra de dreno era composta por seis conjuntos de braços onde trabalhavam os discos de corte, o corte era executado quando esses braços avançavam em direção ao tubo. O comprimento de rasgo era conseguido com o avanço dos braços, num movimento com sentido retilíneo em direção ao tubo, quanto mais os discos penetrassem no tubo maior seria o comprimento do respectivo rasgo. O avanço dos braços era conseguido pela ação de dois cilindros hidráulicos em cada braço de corte.

As Figura 33.a) e Figura 33.b) mostram o sentido de movimento dos braços dos discos de corte na operação de corte, na Figura 33.b) é representado, em detalhe, como era conseguido o comprimento de rasgo na serra de dreno antiga.

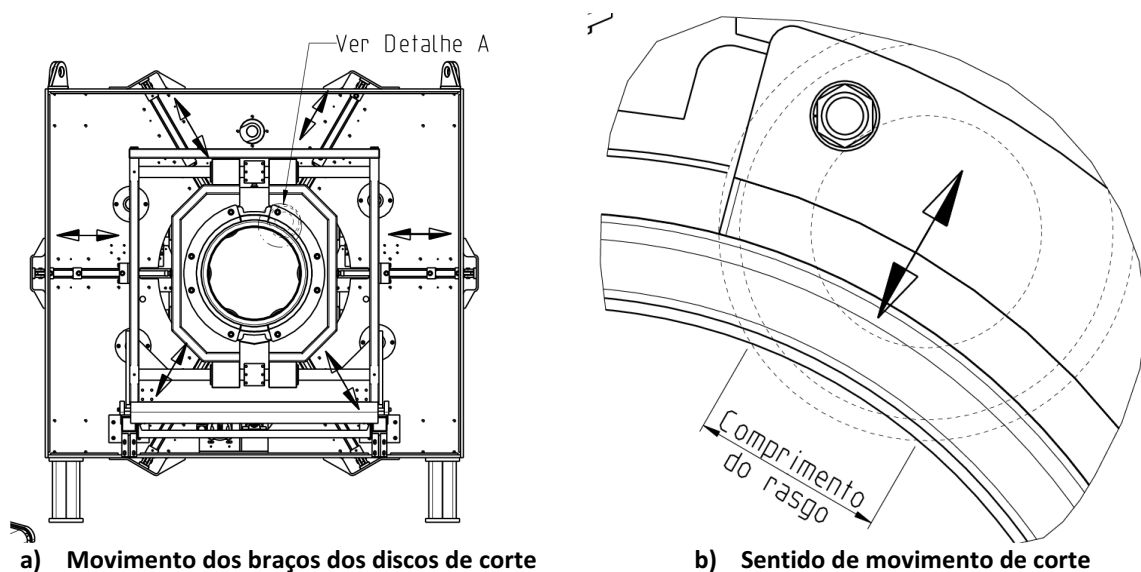


Figura 33 - Movimento dos braços dos discos de corte na serra antiga (Periplast 2014)

Esta solução não garante a precisão dos cortes, troca de discos com tempos elevados, manutenção perigosa e obriga a necessidade de discos de corte com diâmetros maiores para garantir a realização de rasgos com maior comprimento.

A Figura 34 mostra a comparação do número de braços de discos de corte da serra de dreno, Figura 34.a) mostra os seis conjuntos de braços de discos de corte na versão anterior e na Figura 34.b) mostra a nova versão proposta que é composta por três braços de corte. Ao comparar as duas versões é clara qual a evolução realizada no sentido de simplificar um sistema mecânico tão complexo.

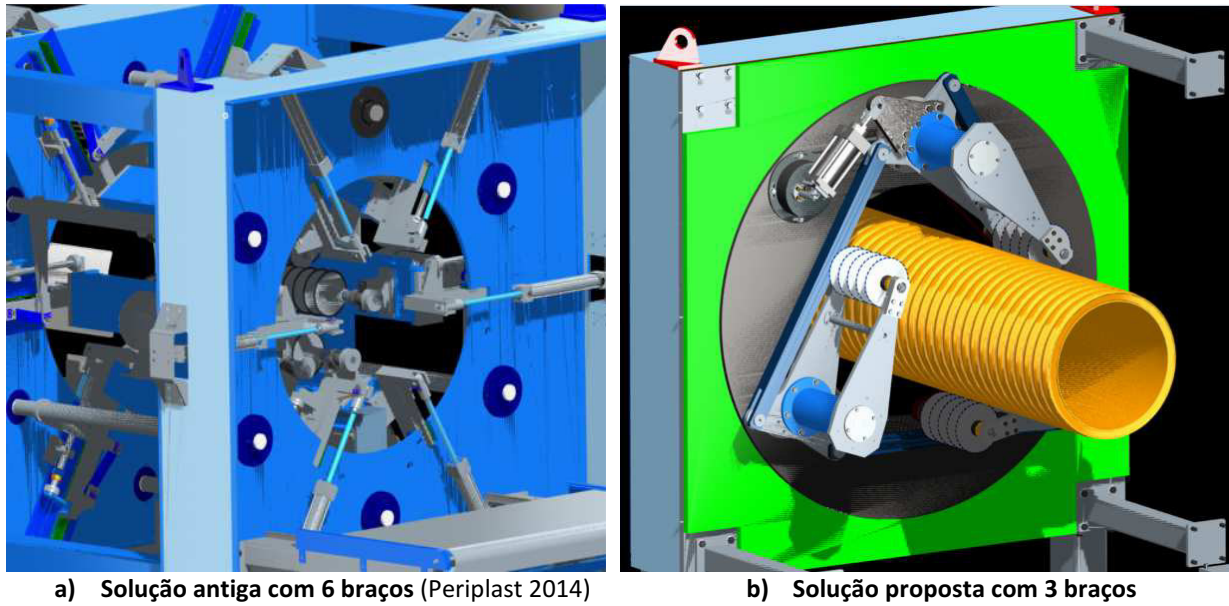


Figura 34 – Comparação do número de braços de corte na serra de dreno e solução proposta

Com este novo modo construtivo, consegue-se uma manutenção mais rápida e segura, o posicionamento dos discos é garantido, assim como, a possibilidade de se realizarem os três tipos de corte já referenciados.

Em alternativa é apresentada uma solução com três braços acionados por um único cilindro hidráulico. O comprimento do rasgo é conseguido através de um servomotor que vai fazer rodar todo o prato onde estão montados os braços dos discos de corte. A cada movimento de corte são realizados três cortes, quando há necessidade de fazer seis cortes o mesmo servomotor roda o prato e coloca os braços em posição para efetuar os outros três cortes.

A Figura 35 mostra a configuração que a serra deve ter quando é pretendido a execução de 6, 4 e 2 rasgos no tubo, assim como a identificação dos vários componentes, a Figura 35.a) mostra a configuração que a serra tem quando é pretendido a execução de 6 rasgos no tubo, nesta situação há um primeiro avanço dos discos de corte para efetuarem um conjunto de 3 rasgos, em seguida o servomotor atua sobre o prato dos braços fazendo-o rodar para colocar os discos em posição para realizarem mais 3 rasgos no mesmo alinhamento perimetral. É realizado o segundo conjunto de 3 rasgos ficando deste modo os 6 rasgos no tubo, em seguida o tubo avança em relação aos discos de corte, no sentido da saída da serra, e pode-se recomeçar uma nova execução de rasgos. Quando se pretender fazer 4 rasgos no tubo a configuração da serra deve ser conforme a Figura 35.b), neste caso também será necessário realizar dois conjuntos de 2 rasgos, seguindo o mesmo princípio como se fossem 3 rasgos. Quando o pretendido for executar somente 2 rasgos no tubo, a serra deve respeitar a configuração que mostra a Figura 35.c), desta vez serão realizados os 2 rasgos com um só

movimento de avanço dos discos de corte. A Figura 35.d) mostra a identificação dos componentes que executam os movimentos de corte. Ver Anexo E.

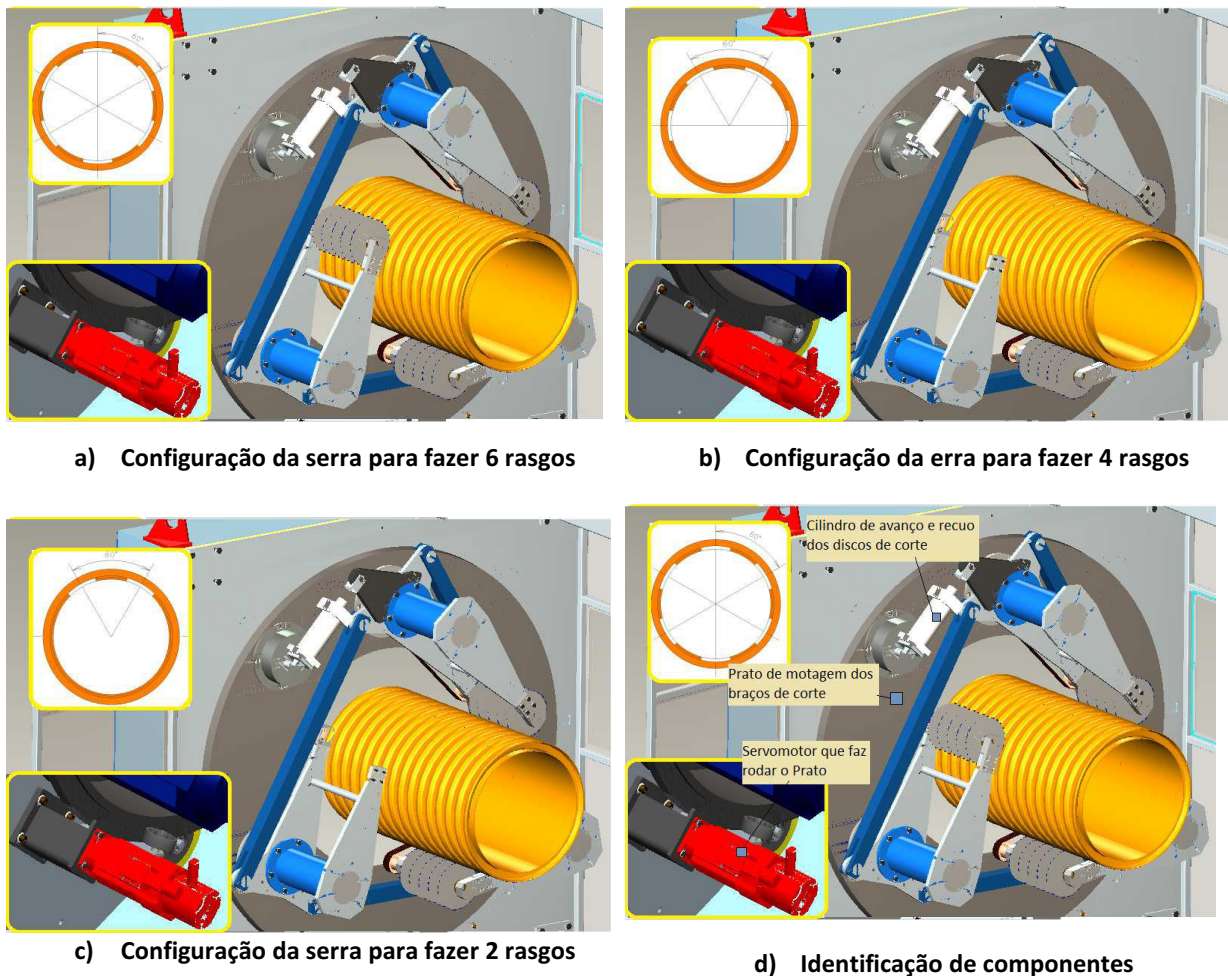


Figura 35 – Configuração e identificação dos componentes da serra para fazer 6, 4 e 2 rasgos

Na Figura 36 pode verificar-se a simplicidade do novo processo de troca de ferramentas. Com a simples operação de desapertar quatro parafusos e desencaixar a extremidade estriada do veio das lâminas, tem-se todo o conjunto de discos de corte fora da máquina. A substituição dos discos pode ser realizada nesse momento. A preparação de novos conjuntos de discos é realizada, pelo operador, mais tarde, enquanto a serra estiver a produzir.

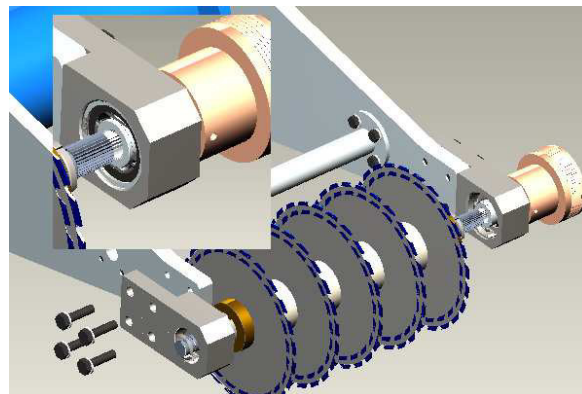


Figura 36 - Troca dos discos de corte

A troca de ferramentas é uma operação que assim se torna mais rápida e simples, acautelando de igual forma a segurança do operador e do equipamento.

A gama de diâmetros de tubo corrugado a cortar na nova serra varia entre 200mm e 500mm.

Na Tabela 17 estão resumidas as etapas necessárias a serem realizadas quando for pretendido tubo com 6 rasgos. A estimativa de tempo apresentada é na situação de rasgos no tubo de diâmetro 500mm a uma velocidade de 2m/s. Estima-se que em cada movimento de avanço dos discos de corte para realizarem 2 conjuntos de rasgos no mesmo alinhamento perimetral, condição necessária para realizar 4 ou 6 rasgos no tubo, demore 33s.

Tabela 17 - Etapas de corte dos rasgos no tubo corrugado

	Movimento	Operação	Estimativa [s]
1	Avanço dos discos, acionados pelo cilindro	Aproximação ao tubo e início do 1º rasgo	2
2	Rotação do prato, acionado pelo servomotor	Corte em comprimento do 1º rasgo	5
3	Recuo dos discos, acionados pelo cilindro	Saída dos discos do tubo	2
4	Rotação do prato, acionado pelo servomotor	Posicionar discos para realizar 2º rasgo	5
5	Avanço dos discos, acionados pelo cilindro	Aproximação ao tubo e início do 1º rasgo	2
6	Rotação do prato, acionado pelo servomotor	Corte em comprimento do 2º rasgo	3
7	Recuo dos discos, acionados pelo cilindro	Saída dos discos do tubo	2
8	Posicionamento do tubo e discos para nova sequência de rasgos	Avanço tubo e reposicionamento dos discos	12
Início de nova sequência de corte			

4.3 Seleção e dimensionamentos

4.3.1. Discos de corte

A seleção e dimensionamento dos discos de corte é muito importante. É necessário um disco de corte que cumpra as suas funções de cortante, no entanto, se não forem acautelados alguns parâmetros de funcionamento, podem-se tornar uma fonte de problemas e de aumento de custos de operação do equipamento.

As suas dimensões e as suas características têm de estar adequadas às necessidades do equipamento, assim sendo, o diâmetro exterior dos discos de corte, para a nossa aplicação, deve ser de 200mm.

Para dimensionar o diâmetro necessário ao corte pretendido deve-se ter atenção alguns aspetos, tais como: a altura da bossa do tubo de maior diâmetro, 500mm, a cortar na serra tem 41mm de altura, dando mais uma folga de 4mm para garantir o corte temos 45mm ao raio (90mm no diâmetro), sabendo que, um terço do diâmetro da lâmina não deve ser considerado

para corte, se a lâmina tiver 200mm de diâmetro, então terá 133mm de diâmetro disponível (aproximadamente 66mm para o raio).

Conclui-se que, dos 45mm aos 66mm temos um intervalo livre de 21mm, medida que é o garante de segurança para que qualquer ovalização ou defeito do tubo possa passar pelos discos.

A Figura 37 mostra as medidas do tubo corrugado de diâmetro 500mm.

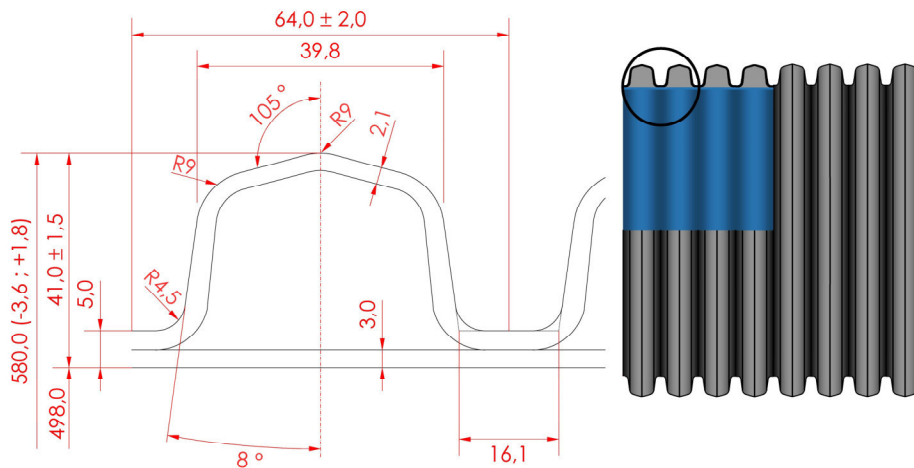


Figura 37 - Dimensões da bossa (PLASTIMA 2014)

A Figura 38 mostra as medidas tidas em consideração para o cálculo do diâmetro dos discos de corte.

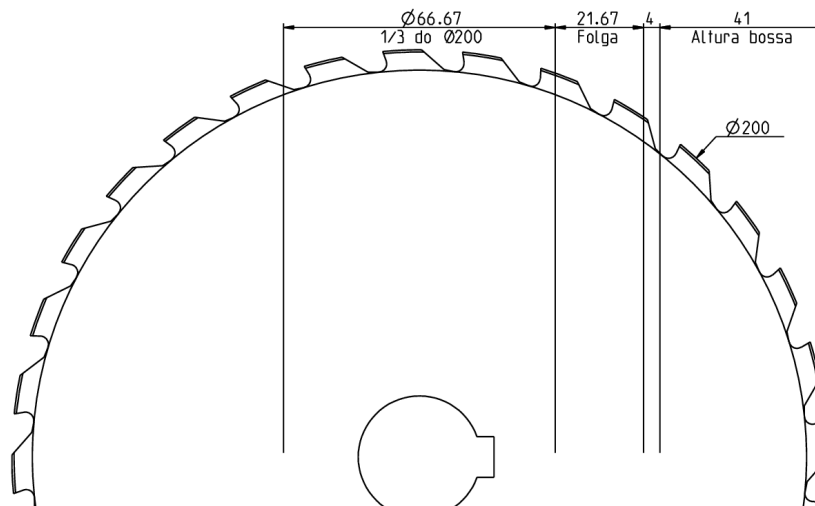


Figura 38 - Cálculo do diâmetro do disco de corte

O número de dentes dos discos de corte também tem de ser definido, o passo entre dentes é um valor definido conforme o tipo de material a maquinar. Com base em resultados bastante satisfatórios obtidos, em outras máquinas desenvolvida pela Periplast, onde o disco de corte tinha diâmetro 250mm e 40 dentes, no perímetro dá um passo 19.6mm, como o nosso disco de corte terá diâmetro 200mm, para manter o mesmo passo, deverá ter 32 dentes.

Para confirmar, o passo do disco de corte, medida angular, será de 11.25°, comparando com os valores da tabelados, conclui-se que se enquadra em todos os intervalos apresentados para os vários termoplásticos.

A geometria dos cortantes, indicada pelo fabricante dos discos, para este tipo de produto, é dente trapezoidal plano.

O tipo de material dos cortantes, indicada pelo fabricante dos discos, para este tipo de produto, é metal duro.

Assumindo que, é pretendido fazer-se rasgos de 2mm, espessura habitual dos rasgos, a espessura dos cortantes deverá ter 2mm, assim, o corpo dos discos de corte, e mais uma vez, por indicação do fabricante, deverá ter 1.4mm.

A Tabela 18 resume toda a informação referente aos discos de corte a serem utilizados na serra quando aplicadas as sugestões de alteração.

Tabela 18 - Especificações dos discos de corte

Diâmetro	200mm
Nº Dentes	32
Tipo de dente	Trapezoidal plano
Material do cortante	Metal duro
Espessura do cortante	2mm
Espessura do corpo	1.4mm

4.3.2. Motores e servomotor

Os motores são os equipamentos que irão fazer, por ação de transmissão de correia Poly-V[®], projeto da “*Hutchinson Belt Drive Systems*”, com que os discos de corte rodem e possam, por sua vez, efetuar os rasgos os tubos corrugado capacitando-se da funcionalidade de drenagem.

O servomotor é o equipamento que, ao efetuar o seu movimento de rotação controlada, faz rodar todo o prato onde estão os braços com os discos de corte. Esta rotação tem duas finalidades, fazer com que os discos de corte perfurem os primeiros rasgos com comprimento definido e em seguida posicionar os braços para perfurarem os segundos rasgos numa posição desfasada dos primeiros cortes.

A Figura 39 mostra a localização dos motores de corte e do servomotor de rotação e apresenta esquematicamente a ligação da motorização necessária para a serra otimizada. A Figura 39.a) mostra que os motores de acionamento dos discos de corte bem como o servomotor que fará rodar o prato dos discos de corte estão separados da camara de corte, isolados de lixos e poeiras provenientes da realização dos rasgos nos tubos, a Figura 39.b) apresenta o esquema de princípio de ligação dos motores e servomotor.

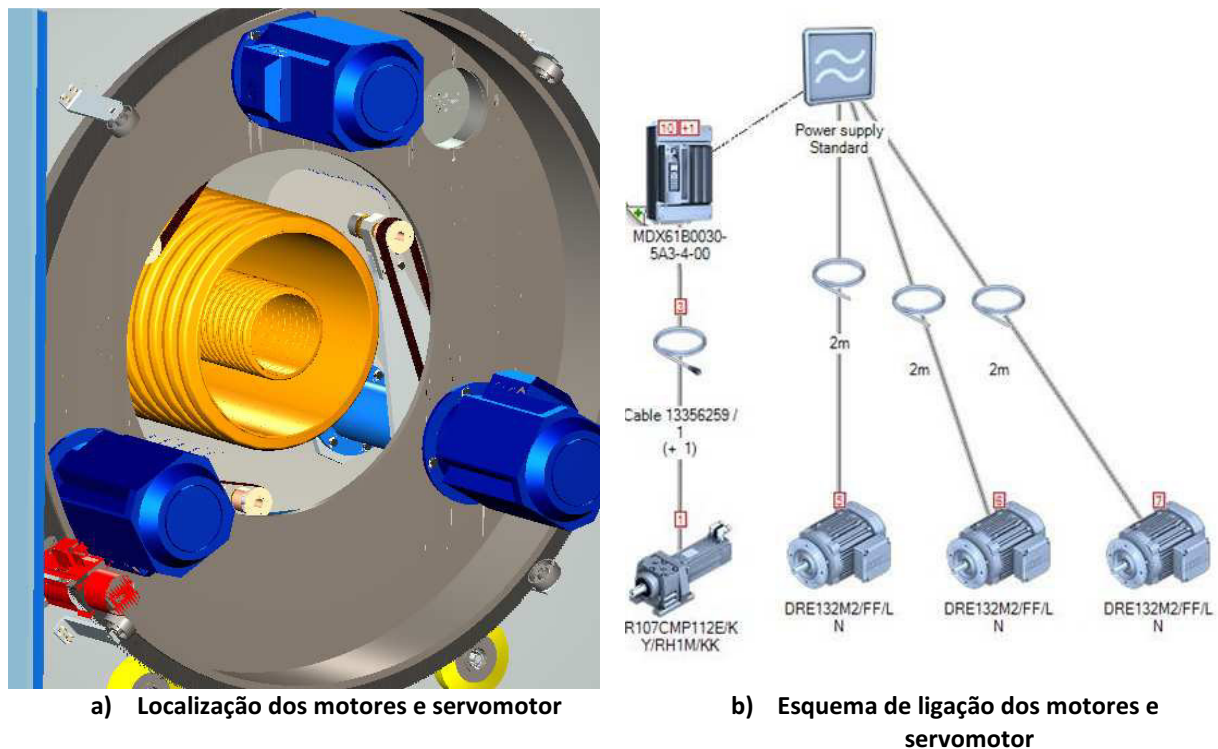


Figura 39 - Localização e alimentação dos motores e servomotor

Para se conseguir seleccionar os motores, que irão acionar os discos de corte, é necessário calcular a sua potência, para tal, primeiro é necessário efetuar alguns cálculos de dimensionamento.

Velocidade de corte (V_c)

A velocidade de corte, ou seja, a velocidade dos pontos da periferia dos cortantes de uma ferramenta, é calculada em função do diâmetro do disco de corte (D) e do número de rotações (n) e calcula-se pela equação 1.

$$V_c = \frac{D \times \pi \times n}{1000 \times 60} \quad [1]$$

em que:

- V_c – Velocidade linear de corte
- D – Diâmetro do disco de corte
- n – Rotação do veio dos discos de corte

O valor da velocidade linear de corte está relacionada com o tipo de material a cortar, para os termoplásticos o valor aconselhado é V_c a variar entre 50m/s e 60m/s (Frezite 2010).

Sabendo a velocidade linear de corte recomendada pode-se calcular a rotação correspondente.

A Tabela 19 mostra os valores utilizados, V_c mínimo e máximo recomendado, no cálculo da rotação do veio dos discos de corte.

Tabela 19 - Cálculo da rotação dos discos de corte

D [mm]	V_c [m/s]	n [rpm]
200	50	4777
	60	5732

A rotação do veio dos discos de corte dependerá da relação entre os carretos do veio dos discos e dos motores, como os carretos de transmissão são *standard* e existem no mercado com várias dimensões, há a possibilidade de ajustar a relação, considerando a rotação do veio dos discos de corte de 5000rpm. Sendo assim, utilizando a equação 1, a V_c correspondente será de 52.3m/s.

A Figura 40 mostra a transmissão de rotação do veio do motor para o veio dos discos de corte.

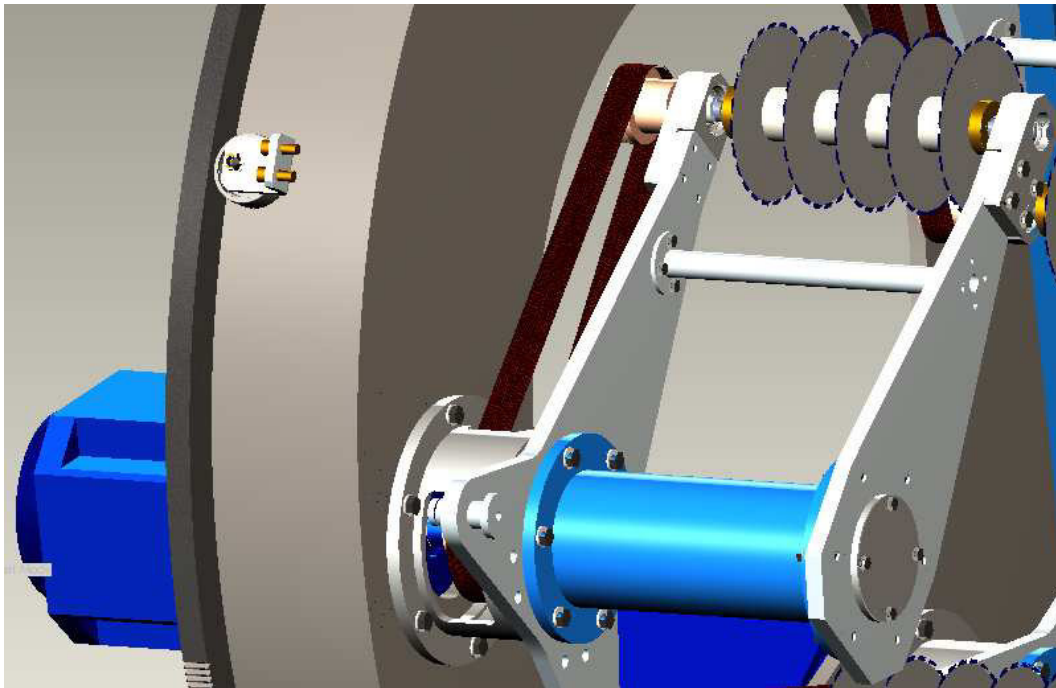


Figura 40 - Transmissão de rotação para veio dos discos de corte

Avanço de corte (f_z)

O avanço de corte depende do tipo de material a cortar, para o caso dos termoplásticos, o valor aconselhado é $f_z = 0.03\text{mm}$ (Frezite 2010).

Velocidade de avanço de corte (V_f)

A qualidade a obter numa superfície está associada ao avanço de corte, esta depende, sobretudo, do avanço de cada dente e do número de dentes da ferramenta. O avanço de corte pode ser calculado pela equação 2.

$$V_f = f_z \times n \times Z_c \quad [2]$$

em que:

- V_f – Velocidade de avanço
- f_z – Avanço de corte
- Z_c – Número de dentes do disco de corte

A Tabela 20 mostra os valores utilizados no cálculo da velocidade de avanço de corte.

Tabela 20 - Cálculo da velocidade de avanço de corte

f _z [mm]	n [rpm]	Z _c [uni]	V _f [mm/min]	V _f [m/min]
0.03	5000	32	4800	4.8

Potência líquida dos motores de corte (P_c)

Para mais tarde selecionar o motor, também é essencial calcular a potência requerida, mas antes de calcular a potência, é necessário o cálculo da espessura média da avara, deve-se utilizar a equação 3.

Como haverão várias situações diferentes de trabalho, para garantir o cumprimento da mais desfavorável realizam-se os cálculos de 2 hipóteses em paralelo. O corte do tubo de diâmetro menor e maior.

- Tubo de diâmetro 200mm com espessura de 1.4mm e 11 discos de corte.
- Tubo de diâmetro 500mm com espessura de 2.8mm e 5 discos de corte.

$$h_m = \frac{\sin(K_r) \times 180 \times a_e \times f_z}{\pi \times D \times \arcsin\left(\frac{a_e}{D}\right)} \quad [3]$$

em que:

- h_m – Espessura média da avara
- K_r – Ângulo de posição
- a_e – Largura de corte

Na Tabela 21 encontram-se os valores utilizados no cálculo da espessura média da avara.

Tabela 21 - Cálculo da espessura média da avara

K _r [°]	f _z [mm]	D [mm]	a _e [mm]	h _m [mm]
90	0.03	200	1.4	0.03
			2.8	0.03

Ainda antes de calcular a potência, é necessário o cálculo da força específica de corte, para tal

deve-se utilizar a equação 4.

$$Kc = Kc1 \times hm^{-mc} \quad [4]$$

em que:

- Kc – Força específica de corte
- Kc1 - Força específica de corte com área de 1mm²
- mc – Fator de correção

Na Tabela 22 encontram-se os valores utilizados no cálculo da força específica de corte.

Tabela 22 - Cálculo da força específica de corte

Kc1 [N/mm ²]	mc	hm [mm]	Kc [N/mm ²]
1400	0.15	0.03	2368.9

Estão reunidos todos os dados para se calcular a potência líquida necessária e utilizando a equação 5.

$$Pc = \frac{ap \times ae \times Vf \times Kc}{60 \times 10^6 \times \eta} \quad [5]$$

em que:

- Pc – Potência líquida de corte
- ap – Profundidade de corte
- η - Eficiência

Na Tabela 23 encontram-se os valores utilizados no cálculo da potência líquida.

Tabela 23 - Cálculo da potência requerida por lâmina

ap [mm]	ae [mm]	Kc [N/mm ²]	Vf [mm/min]	η [%]	Pc [kW]
2	1.4	2368.9	4800	90	0.59
	2.8				1.18

Então:

- Para o diâmetro 200mm tem-se Pc= 0.59 x 11 discos de corte= 6.49kW
- Para o diâmetro 500mm tem-se Pc= 1.18 x 5 discos de corte= 5.9kW

A Figura 41 mostra a disposição e a quantidade de discos de corte necessários para realizar os rasgos nos tubos de diâmetro 200mm e 500mm. A Figura 41.a) e a Figura 41.b) mostram, respectivamente o corte da serra de dreno do tubo de diâmetro 200mm com 11 discos de corte e o tubo de diâmetro 500mm com 5 discos de corte.

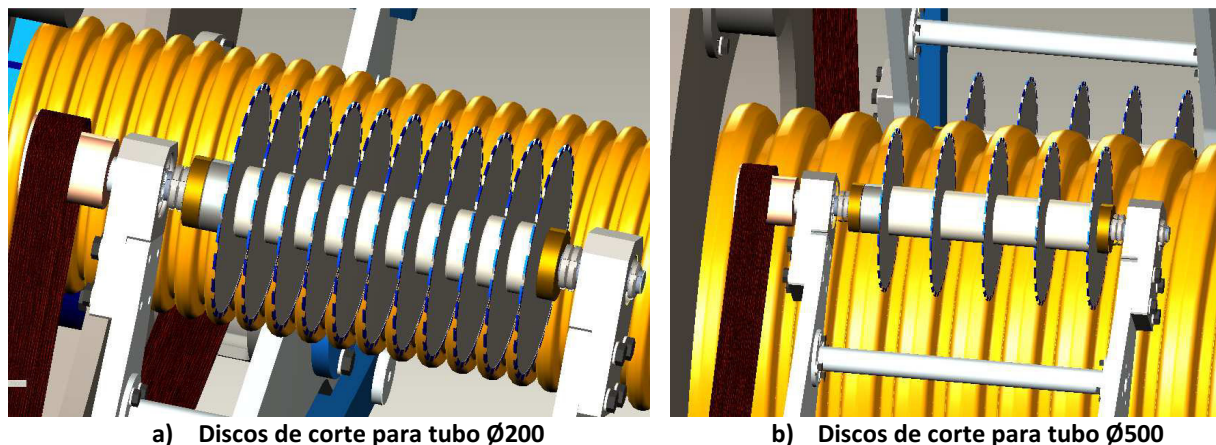


Figura 41 – Disposição dos discos de corte para tubo de $\varnothing 200$ e $\varnothing 500$

Dimensionamento do servomotor

O servomotor irá ter uma ação, muito importante, no sistema de corte da nova serra de dreno, o seu movimento irá fazer o comprimento dos rasgos e o posicionamento dos discos de corte. Para se realizar a seleção do servomotor adequado à aplicação é necessário o cálculo da rotação e do binário.

A Figura 42 mostra as dimensões do carreto do veio do servomotor, do prato dos braços dos discos de corte e dos tubos de diâmetro máximo e mínimo a cortar na serra de dreno.

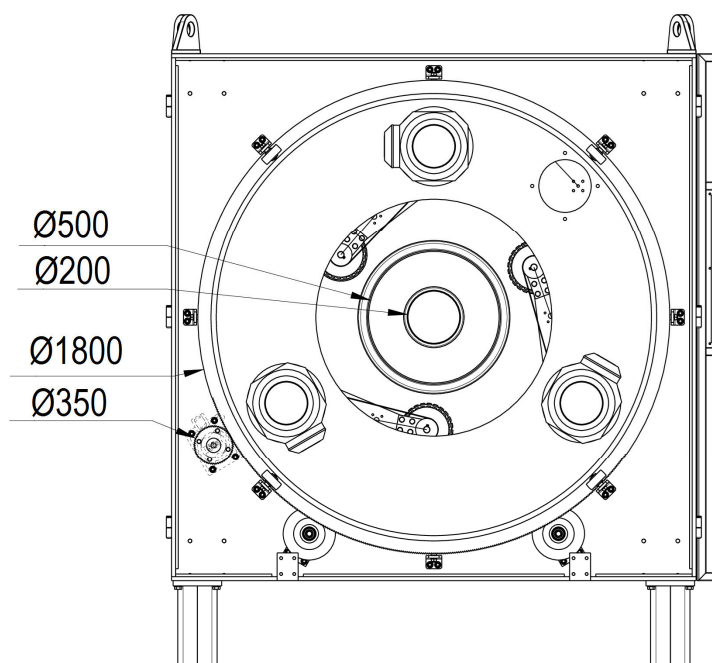


Figura 42 - Dimensões do carreto de servomotor, prato rotativo e tubos a cortar

Da equação 2, sabe-se que a velocidade de avanço é 4.8m/min, essa é a velocidade linear que deve ser cumprida quando se efetuar os rasgos no tubo de diâmetro 500mm e também no tubo de diâmetro 200mm.

Na Tabela 24 encontram-se os valores utilizados no cálculo da rotação à saída do servomotor, assim como, o procedimento para a calcular.

Tabela 24 - Cálculo da rotação à saída do servomotor

Cálculo da rotação que o conjunto dos braços de corte deve respeitar (eq. 1).		
Vf [m/min]	D [mm]	n [rpm]
4.8	200	7.8
	500	3.1
Cálculo da velocidade linear no diâmetro do prato em contato com o carreto do servomotor (eq. 1).		
Dprato rotativo [mm]	n [rpm]	v [m/min]
1800	7.8	44.6
	3.1	18.1
Calcular a rotação do servomotor (eq. 1).		
Dcarreto [mm]	v [m/min]	n [rpm]
315	44.6	45
	18.1	18

Na Tabela 25 encontram-se os valores obtidos, por simulação no *software* Pro-e, do peso de 960kg corresponde a todo o conjunto do prato rotativo, braços dos discos de corte, motores e peças agregadas a este conjunto.

Tabela 25 - Valores dos pesos do conjunto do prato rotativo

	Peso [kg]	qtd	Peso [kg]
Braço dos discos	70	3	210
Conjunto do carreto	5	3	15
Conjunto do veio dos discos	5	3	15
Conjunto dos discos	3	3	9
Barra de ligação	5	3	15
Orelha de ligação ao cilindro	8	1	8
Outros	5	3	15
Placa de base Ø1800	450	1	450
Motores	60	3	180
Chumaceira	10	3	30
Cilindro e outros	13	1	13
		Total	960

Para calcular o binário do servomotor primeiro é necessário o cálculo da força requerida para fazer movimentar o conjunto dos discos de corte. Sabendo que a massa total do conjunto do prato rotativo é de 960kg, então, considerando a aceleração de 9.8m/s^2 , tem-se uma força correspondente de 9408N.

Para calcular do binário que o servomotor terá que garantir para fazer mover o prato rotativo, considera-se o diâmetro do prato rotativo que é 1800mm e a força correspondente que é 9408N, obtendo-se o binário de 8467,2N.m.

Sabendo que é necessário um servomotor com uma rotação de saída de 45rpm, optou-se pela rotação mais alta, e um binário de 8467.2N.m pode-se calcular o binário do servomotor. A Tabela 26 mostra os valores utilizados para o dimensionamento do servomotor, a seleção será feita na procura de um servomotor que garante estes valores.

Tabela 26 - Seleção do servomotor

Acionamento do servomotor		Para um servo de 4500rpm Relação de transmissão (i)	Binário do servomotor [N.m]
n [rpm]	M [N.m]	4500/45= 100	8467.2/100= 84.7
45	8467.2		

Com o auxílio do *software* de seleção e dimensionamento de motores e servomotores da SEW-Eurodrive, escolheu-se o servomotor com as características que revelavam cumprir os requisitos essenciais ao cumprimento do bom funcionamento do equipamento, no Anexo F encontra-se o relatório completo emitido aquando a seleção dos motores servomotor.

A Figura 43 mostra o modo de atuação do servomotor em relação ao prato rotativo, foi feito um corte no suporte de fixação do servomotor para melhor entendimento da transmissão por carreto entre o servomotor e o prato rotativo.

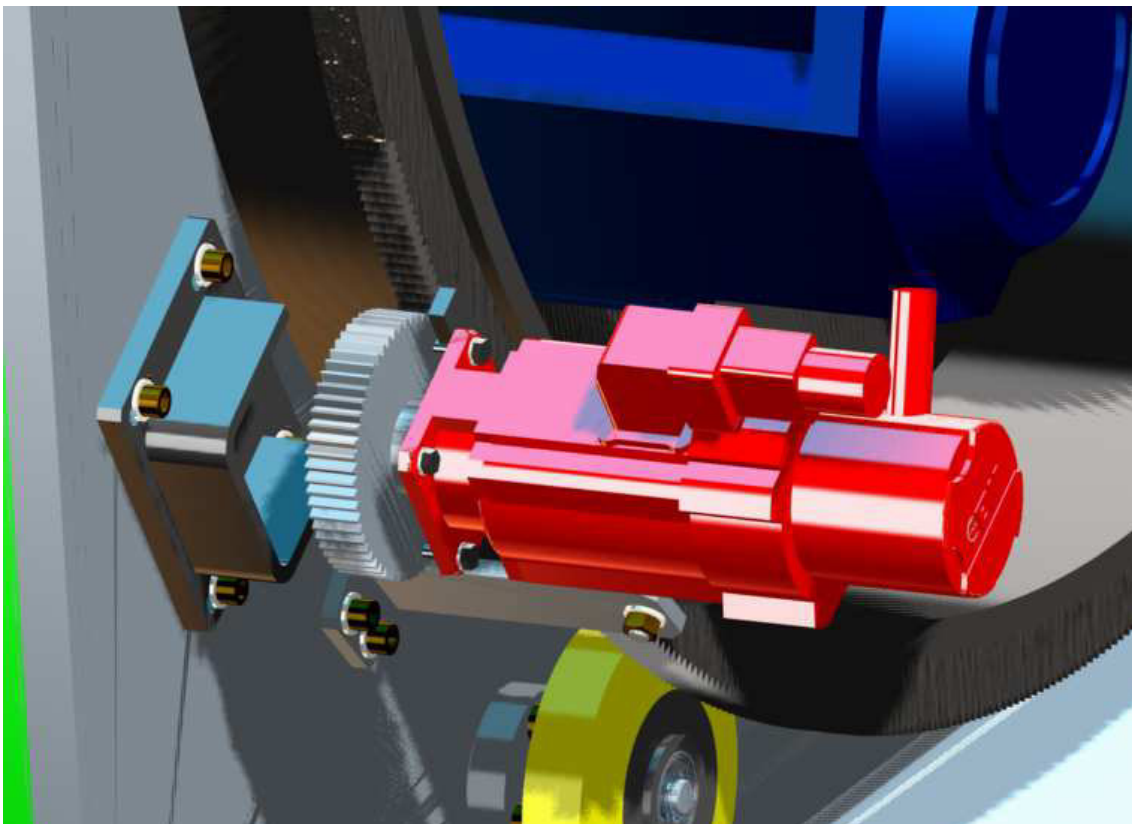


Figura 43 - Atuação do servomotor

4.3.3. Dimensionamento do sistema hidráulico

Para se realizar o dimensionamento da parte hidráulica da serra de dreno, especificamente o dimensionamento do cilindro, motor e depósito é necessário indicar alguns dados considerados. A Tabela 27 mostra os dados iniciais para o cálculo da força que o cilindro hidráulico deverá efetuar para que o corte se realize nas condições ideais.

Tabela 27 - Dados iniciais para o cálculo da força do cilindro

Força/disco de corte $\approx 10\text{kgf}$	Indicação do fabricante dos discos de corte, valores amplamente testados em aplicações idênticas (diâmetro dos discos de corte e material).
Velocidade de avanço $\approx 5\text{m/min}$	Valor calculado pela equação 2.
Bomba de carretos com pressão máxima de 200bar	Bomba indicada, pelo fabricante, para este tipo de aplicação. Razão qualidade/preço aceitável. Para efeitos de cálculos, por motivos de segurança de funcionamento, será utilizado o valor de 60% da pressão máxima ou seja 120bar.

Cálculo da força do cilindro

A Tabela 28 mostra os dados utilizados, para o cálculo da força de corte das lâminas, sabendo que cada braço da serra, no corte do tubo de diâmetro 200mm tem 11 lâminas e a serra tem 3 braços, então:

Tabela 28 - Cálculo da força dos 3 braços de corte

m [kg]	F [N]	Lâminas/braço	Nº braços	Ft [N]
10	100	11	3	3300

A Figura 44 mostra como irão atuar as forças de corte dos 3 braços de corte, assim como a força que o cilindro hidráulico deverá exercer para que se realize o movimento de avanço e recuo dos braços de corte.

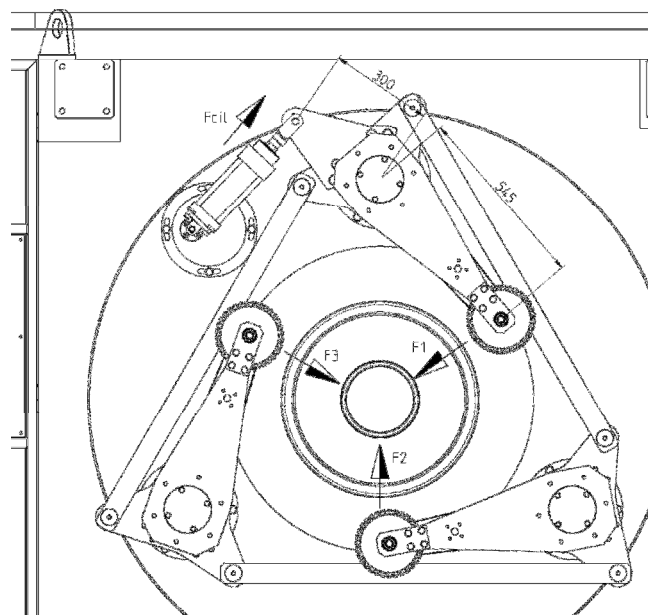


Figura 44 - Disposição das forças de corte

Para calcular a força que o cilindro deve efetuar durante o seu funcionamento, determina-se o binário provocado pelas forças de corte resultantes nos discos de corte para em seguida se calcular o binário resultante da força do cilindro necessário para compensar o primeiro.

Sabendo que, a força total nos discos de corte é de 3300N e a distância ao eixo de rotação é de 0,545m, então o binário que o cilindro hidráulico terá de vencer será 1798,5Nm.

Sabendo que, o binário a vencer é de 1798,5Nm, a distância ao eixo de rotação é de 0,3m e considerando um fator de segurança de 1,5, então a força que o cilindro hidráulico deve garantir é de 8992,5N.

Diâmetro do cilindro

Para calcular o diâmetro do cilindro hidráulico calcula-se a sua área utilizando a equação 6. Sabendo que a força a garantir é de 8992,5N e considerando 60% do valor da pressão máxima das bombas de carretos que é 200bar, então a área do cilindro deverá ser de 7,5cm².

$$F = P \times A \quad [6]$$

em que:

- F – Força
- P – Pressão
- A – Área

Na Figura 45 pode-se encontrar um quadro com os valores das áreas dos cilindros comercialmente disponíveis, com base nesse quadro e na área calculada poderia ser selecionado um cilindro com diâmetro de 40mm, contudo, para manter uma homogeneidade dimensional será selecionado um cilindro com diâmetro de 50mm interior e com uma haste com diâmetro de 28mm.

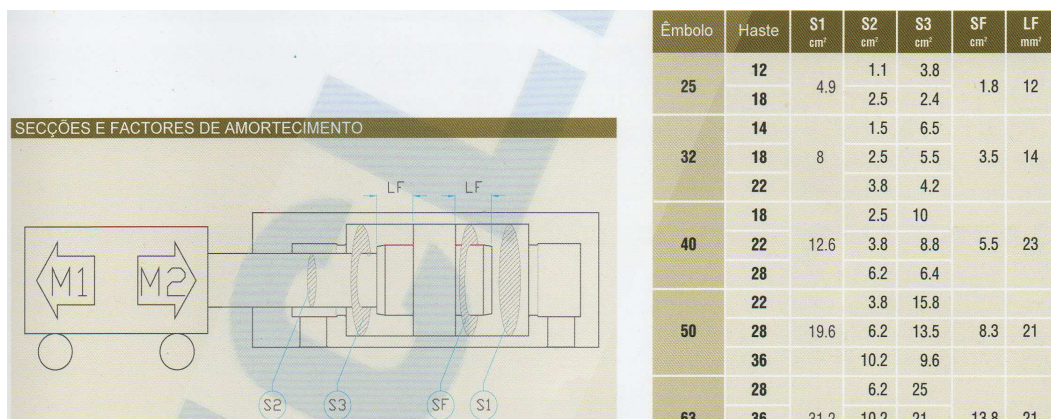


Figura 45- Seção dos cilindros (Teclena 2011)

Potência do motor

Pretende-se calcular a potência do motor que irá acionar a bomba de carretos no circuito hidráulico, para tal é necessário determinar o valor o caudal do circuito.

Para calcular o caudal do circuito hidráulico utiliza-se a equação 7. Sabendo que a área considerada é a do cilindro com diâmetro de 50mm que é $19,6\text{cm}^2$ e que a velocidade de avanço é de $\approx 5\text{m/min}$, calculada com a equação 2, esta é a velocidade linear que deve ser cumprida quando ocorre o avanço do cilindro hidráulico que corresponde ao avanço das lâminas de corte, então o caudal do circuito hidráulico será de $162,7\text{ cm}^3/\text{s}$.

$$Q = A \times v \quad [7]$$

Em que:

Q – Caudal
A - Área
v – Velocidade

Para se calcular a potência do motor que irá acionar a bomba de carretos para circulação de todo o circuito hidráulico utiliza-se a equação 8. Considerando 60% da pressão máxima da bomba de carretos que é 200bar e com um caudal de $162,7\text{cm}^3/\text{s}$, então a potência que o motor deve ter é de 1,94kW.

$$P_{motor} = \frac{P \times Q}{600} \quad [8]$$

Em que:

P_{motor} – Potência
P – Pressão
Q - Caudal

Depósito hidráulico

Para seleção e dimensionamento do depósito da unidade hidráulica devem-se ter duas premissas em consideração, o volume do depósito deverá ser o triplo o caudal da bomba, assim, o volume do depósito será aproximadamente de 30 litros e deve permitir a montagem de componentes na tampa.

Esquema hidráulico

A Figura 46 mostra do esquema de acionamento do cilindro hidráulico que vai fazer movimentar os discos de corte no sentido de avanço e recuo do corte.

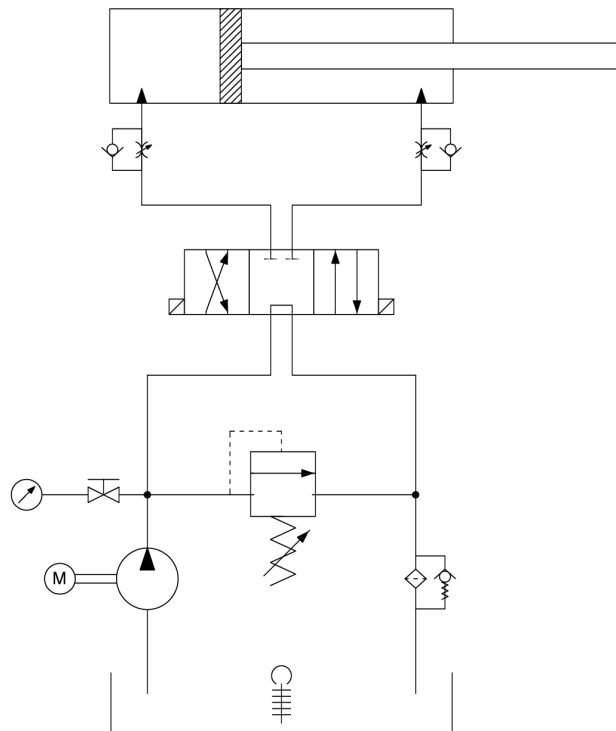


Figura 46 - Esquema hidráulico

4.3.4. Seleção da correia

A correia a utilizar é do tipo Poly V[®], do fabricante *Hutchinson Belt Drive Systems*, é uma correia de transmissão de potência com múltiplas nervuras longitudinais que transmite o binário pelo contacto das laterais das nervuras da correia e as ranhuras da polia.

Com a utilização deste tipo de correias dispõe-se de uma correia compacta, redução de ruído, estabilidade de tensão e fiabilidade, transmissão de alta potência e a redução de custos.

A Figura 47 mostra um esquema da geometria das correias Poly-V[®].



Figura 47 - Correias Poly-V[®] com maior área de contato (Hutchinson 2014)

Com o auxílio do *software* de dimensionamento de correias Poly-V[®], disponibilizado no site do fabricante, consegue-se selecionar a correia adequada a cada aplicação. No Anexo G existe o relatório das características da correia a utilizar na serra de dreno. A correia indicada tem a referência 4 PK 1460, ou seja, é do tipo K, tem quatro nervuras e tem um perímetro de 1460mm.

4.3.5. Seleção dos rolamentos

Os rolamentos são peças essenciais ao bom funcionamento do equipamento. É de elevada importância a escolha de peças de alta qualidade que nos garantam fiabilidade para a nossa aplicação. As características têm de ser validadas para que a longevidade do equipamento esteja salvaguarda.

O rolamento selecionado tem a referência 6004-2RSR e é fabricado pela INA/FAG, é um rolamento de esferas com vedação em ambos lados para proteger de eventuais sujidades. O veio onde irão trabalhar os rolamentos tem diâmetro 20mm, a rotação do veio será de 5000rpm e a força que cada braço estará sujeito é de 1100N, deste modo, com as características que o rolamento selecionado apresenta, estão acautelados os requisitos para o bom funcionamento da aplicação.

Para garantir que o ciclo de vida dos rolamentos é aceitável e adequado, através da aplicação *medias*[®] *Bearing analysis* disponibilizada pelo fabricante chega-se à conclusão que, face às condições de trabalho e solicitações exercidas, os rolamentos terão um tempo de vida de 29489h, mais de 3 anos em funcionamento com uma fiabilidade de 99%. No anexo H encontra-se o relatório do cálculo do tempo de vida dos rolamentos.

A Figura 48 mostra a localização no veio dos rolamentos dos discos de corte.

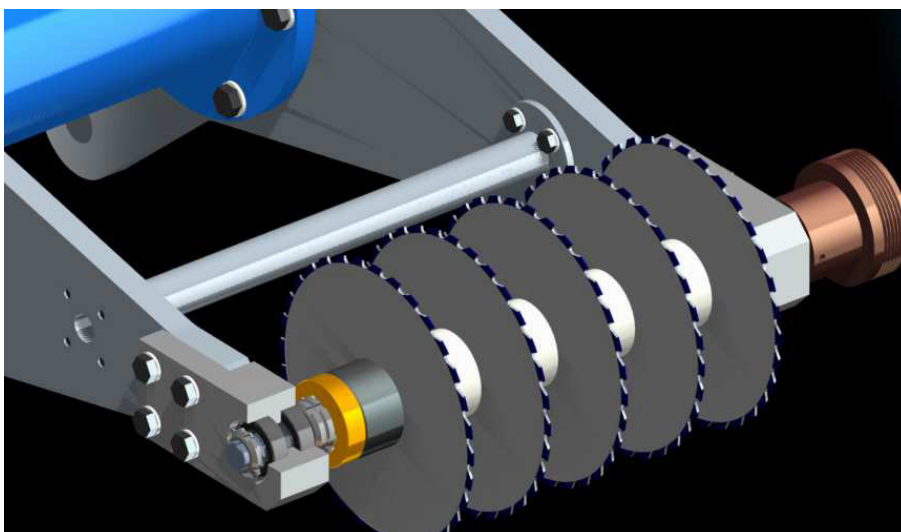


Figura 48 - Veio dos discos de corte – posição dos rolamentos

4.3.6. Redução do ruído

A solução anterior apresentava níveis de ruído excessivos, é de todo imprescindível eliminar este problema quer pela segurança e bem estar do operador quer pela vertente legal do cumprimento dos limites permitidos pela regulamentação aplicável.

Com as alterações propostas, pretende-se reduzir o nível de ruído e torná-lo suportável em ambiente industrial.

Segundo a Organização Internacional do trabalho OIT, um trabalhador, num período de trabalho de 8 horas, não deve estar exposto a níveis de ruído superiores a 85 - 90dB (OIT 2009).

Os fatores que levam a ter esta expectativa são:

- ✓ Redução do número de lâminas;
- ✓ Diminuição do diâmetro dos discos de corte;
- ✓ Aplicação de isolamento acústico nas laterais da estrutura da serra.

O isolamento será em painéis rígidos de espessura uniforme, constituídos de fibras de lã de rocha aglutinadas com resina sintética termo-endurecida, revestidas por um véu anti-desagregante negro de fibra de vidro. Este tipo de material é indicado para aplicações industriais, especialmente concebido para isolamento térmico e correção acústica de locais onde há produção de elevados níveis de ruído. Sendo por excelência um produto adequado para soluções de absorção sonora.

A Figura 49 mostra os locais para aplicação do isolamento para minimizar a emissão de ruído.

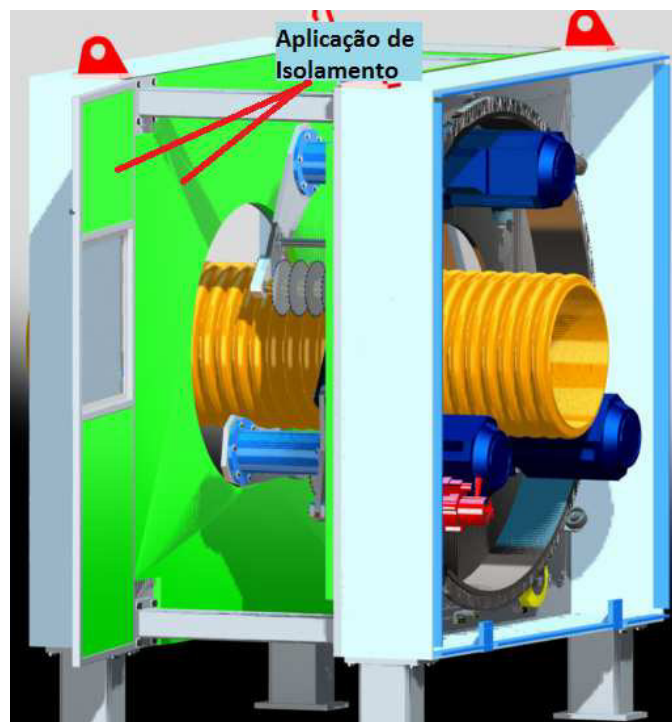


Figura 49 - Aplicação de isolamento no novo modelo

4.4 Tempo de *setup*

A implementação da metodologia SMED conduz à obtenção de bons resultados, a finalidade é a redução de tempos de Setup no intuito de melhorar a flexibilidade do equipamento (Costa *et al.* 2013; Mota 2007). Com a aplicação da metodologia SMED, para além da redução de tempos na troca de ferramentas, consegue-se a resolução de problemas e a eliminação de desperdício de material (Sharma *et al.* 2014). Os ganhos reais na redução de tempos de *setup*, em determinados casos, ultrapassam os 50% (Kuřar *et al.* 2010).

No projeto do novo equipamento com as alterações agora sugeridas foi realizado o MTM. No Anexo I encontra-se o estudo pormenorizado dos tempos de troca de ferramentas para os 3 braços da serra de dreno. Com esta análise determina-se que para cada braço serão necessário aproximadamente 5min dando um total de 15min para a troca de todos os 3 braços de discos de corte.

4.5 Análise de riscos

A realização de uma análise de riscos ao equipamento é um dos requisitos exigidos para a aposição da Marcação CE. Foram observadas as indicações da Diretiva Máquina e implementadas as soluções aplicáveis à serra de dreno.

O risco é um conceito pluridimensional que pode ser analisado a partir de diferentes disciplinas, configurando diversas unidades de estudo.

É, também, um conceito descritivo e normativo, uma vez que define uma situação e estabelece, complementarmente, as normas a seguir para a modificar no sentido desejado (Freitas 2011).

Executar a avaliação de riscos será o primeiro passo para a segurança de máquina.

Avaliação de riscos é a chave para a segurança de máquina, essa avaliação prepara o caminho para o grau da redução de riscos, que é efetiva e também económica. Muitas atividades executadas pelos operadores dos equipamentos e equipas de manutenção representam um risco elevado.

A prevenção de riscos profissionais deve ser desenvolvida de acordo com princípios, normas e programas que permitam identificar os riscos para a segurança e saúde a que estão expostos os trabalhadores, com vista a organizar os meios adequados à sua eliminação ou à redução do seu impacto (Freitas 2011).

A Norma ISO 12100:2010 – “*Safety of machinery General principles for design Risk assessment and risk reduction*” de 2010, tem como propósito capacitar os projetistas, aquando

a fase de projeto, o desenvolvimento de máquinas seguras para o propósito que são idealizadas.

O conceito de máquina segura considera a capacidade da máquina desenvolver as suas funções, para as quais foi concebida, durante o seu ciclo de vida onde os riscos foram adequadamente reduzidos (ISO/TC 199 2010).

Avaliação de riscos

- Por sector de atividade
- Por componente material de trabalho
- Por operação
- Por suboperação
- Por profissão
- Por tipo de risco

5. Discussão de resultados

Vários são os pontos de desenvolvimento, a implementação das soluções apresentadas, fazem antever o melhoramento significativo do equipamento sujeito a melhorias. A Figura 50 quantifica as melhorias previstas num novo equipamento, implementando as indicações aqui expostas, comparativamente ao observado na versão já fabricada, o particular destaque para as melhorias esperadas no tempo de *setup*.

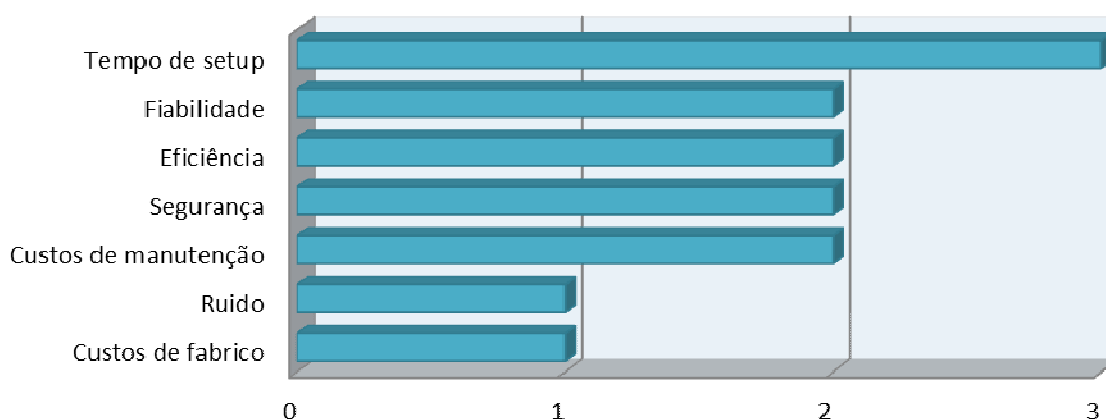


Figura 50 – Otimização prevista

Legenda:

- 1 – Melhorias relativas
- 2 – Melhorias significativas
- 3 – Melhorias muito significativas

A discussão de resultados deve conter uma análise crítica das ações realizadas e comparar os resultados obtidos em relação ao objetivo pretendido.

No trabalho desenvolvido por Geraldo Neto (Neto 2009) onde foi proposto um estudo com objetivo demonstrar a aplicabilidade de metodologias de projeto, para segmentos de produtos e serviços, conclui-se que todos intervenientes no estudo estão de acordo que as metodologias ajudam o desenvolvimento do projeto, sendo que 67% concordam e 27% concordam plenamente. Com as várias metodologias aplicadas vamos concluir que as melhorias nos vários itens intervencionados são relevantes.

5.1 Aspeto funcional

Sem dúvida, o aspeto funcional é o ponto principal a ser corrigido, é fundamental que esta situação seja invertida por várias razões, custos de alterações e correções, manutenção, desperdício e credibilidade.

A versão antiga não teve o desempenho esperado pelos motivos já apontados. Duas são as razões para que se verificasse este defeito:

- O modo de acionamentos dos braços dos discos de corte era feito por cilindros hidráulicos, um em cada extremidade dos braços, deste modo, o comprimento do rasgo feito nos tubos, era conseguido pelo avanço e penetração dos discos no tubo corrugado.
- Os braços ao avançarem não conseguiam ter um movimento linear perpendicular ao tubo o que levava a que os rasgos não fossem realizados no local pretendido, por vezes fora das bossas do tubo corrugado, o resultado portanto, era tubos danificados e prejuízo de matéria-prima.

A Figura 51 apresenta o movimento e troca dos discos de corte, a Figura 51.a) mostra o acionamento, por parte de cilindros hidráulicos, do conjunto de discos de corte provocando o movimento de avanço ou recuo dos discos, a Figura 51.b) mostra o veio dos discos de corte que é necessário retirar aquando a realização do processo de troca de ferramentas.

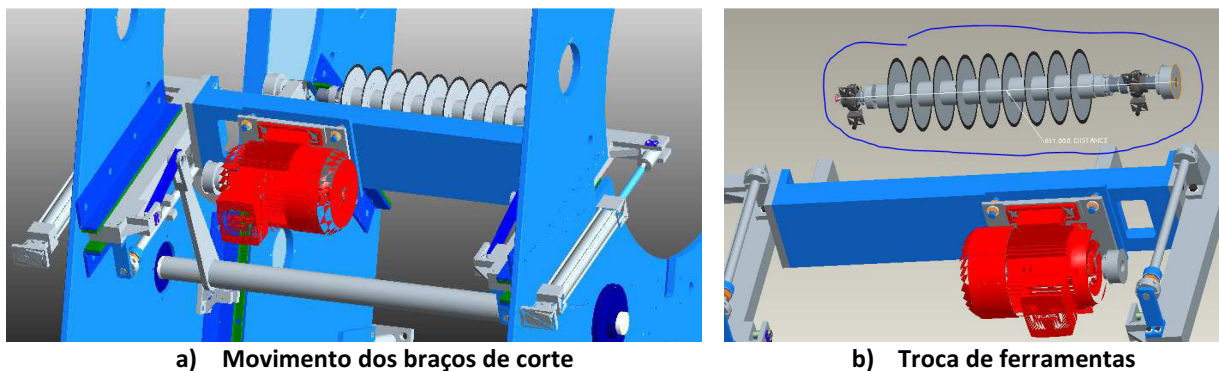


Figura 51 - Antigo sistema de movimento dos braços de corte e troca de ferramentas (Periplast 2014)

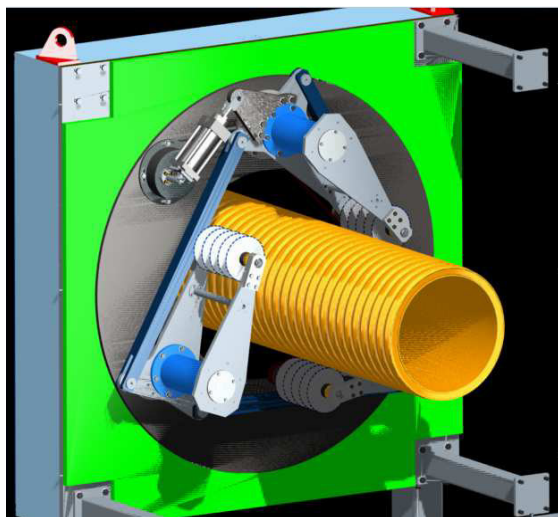
A constituição dos braços dos discos de corte era composta por muitas peças o que dificultava a manutenção e troca de ferramentas, por se verificar esta condição, eram despendidas numerosas horas, por parte do operador, na tentativa de afinar a serra.

Nos dias de hoje, com a globalização e o acesso a tantas marcas e fornecedores, é exigido qualidade e fiabilidade para que uma empresa seja competitiva e consiga manter os clientes satisfeitos, as alternativas agora propostas eliminam os erros cometidos.

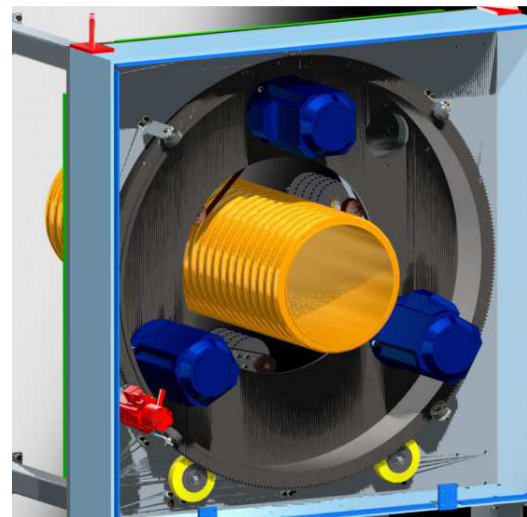
Em alternativa aos seis braços acionados individualmente por dois cilindros, a solução será ter

três braços ligados mecanicamente entre si e acionados por um só cilindro hidráulico para fazer o avanço de penetração. Num primeiro avanço faz três rasgos, em seguida, todo o prato dos braços dos discos roda por ação de um servomotor para fazer o comprimento de rasgo pretendido, em seguida o mesmo cilindro que fez o avanço de penetração agora faz o recuo dos discos, o prato dos discos roda para posicionar os discos para fazer mais três rasgos, o cilindro faz novamente o avanço e o comprimento dos rasgos é obtido mais uma vez por ação do servomotor. Os seis rasgos estão feitos. Para iniciar uma nova sequência de seis rasgos o cilindro faz o recuo dos discos de corte e o prato dos discos volta à posição inicial, a serra está pronta para realizar uma nova sequência de seis rasgos.

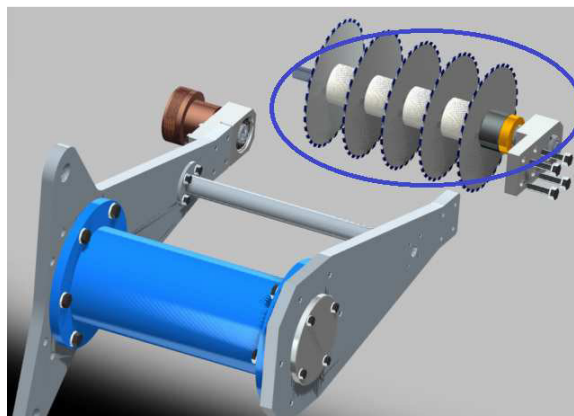
A Figura 52 apresenta alterações propostas, a Figura 52.a) mostra sistema de corte, os braços dos discos de corte estão ligados mecanicamente entre si e acionados por 1 cilindro, a Figura 52.b) mostra a posição dos motores e do servomotor e a Figura 52.c) mostra o braço e a troca de discos de corte.



a) Movimento de braços com 1 cilindro



b) Sistema de rotação por servomotor



c) Sistema simples de troca de ferramentas

Figura 52 – Solução otimizada da serra de dreno

Com esta solução há uma redução do número de peças, não só pela redução do número de braços, mas também pelo modo construtivo, assim como, o modo de acionamento da rotação dos discos de corte. Garante-se também a fiabilidade dos cortes porque os discos avançam sempre em conjunto, aumenta-se o rigor e precisão dos rasgos porque os discos de corte estão sempre posicionados no mesmo ponto de referência e o comprimento de rasgo é garantido pela rotação precisa do servomotor.

Com esta mudança, ao modo de corte, consegue-se diminuir o diâmetro dos discos de corte, uma vez que o diâmetro dos discos não está dependente do comprimento do rasgo.

A manutenção e troca de ferramentas tornam-se operações rápidas, fáceis e seguras. Para se ter acesso aos discos de corte basta desaparafusar quatro parafusos e tem-se o veio completamente livre para troca, isto porque uma das extremidades do veio dos discos de corte é estriado e de fácil montagem e/ou desmontagem.

A Tabela 29 apresenta os cálculos realizados para a obtenção da produção da serra de dreno utilizando o modelo construtivo proposto.

Tabela 29 - Cálculo da produção no novo modelo

Condições para 6 rasgos							
Operação	Movimento	Velocidade [m/min]	Tubo Ø500		Tubo Ø200		
			L[mm]	Tempo [s]	L[mm]	Tempo [s]	
1	Avanço dos discos, acionados pelo cilindro	Aproximação ao tubo e início do 1º rasgo	4	60	0,9	30	0,45
2	Rotação do prato, acionado pelo servomotor	Corte em comprimento do 1º rasgo	4	160	2,4	60	0,9
3	Recuo dos discos, acionados pelo cilindro	Saída dos discos do tubo	4	60	0,9	30	0,45
4	Rotação do prato, acionado pelo servomotor	Posicionar discos para realizar 2º rasgo	4	160	2,4	60	0,9
5	Avanço dos discos, acionados pelo cilindro	Aproximação ao tubo e início do 1º rasgo	4	60	0,9	30	0,45
6	Rotação do prato, acionado pelo servomotor	Corte em comprimento do 2º rasgo	4	100	1,5	40	0,6
7	Recuo dos discos, acionados pelo cilindro	Saída dos discos do tubo	4	60	0,9	30	0,45

Tabela 29 - Cálculo da produção no novo modelo (continuação)

8	Posicionamento do tubo e discos para nova sequência de rasgos	Avanço tubo e reposicionamento dos discos	4	400	6	400	6
9	Considerar 1s entre cada operação	-	-	-	8	-	8
Total/ corte					24		
Tempo							
			[min]	[s]	[min]	[s]	
Por cada vara de 6 metros são necessários 15 cortes			Total/vara 6m	6	359	5	273
			Total/metro	1	60	1	46
Considerando que o processo é totalmente manual e que o operador demora 5 minutos a alimentar a serra com um novo tubo				5	5		
Tempo [min] / vara				6	5		
Total				11	10		
Total varas/turno 8h				44	48		

A Figura 53 apresenta os valores comparativos da produção de tubo de diâmetro 500mm e diâmetro 200mm, por turno de 8 horas, entre o novo modelo apresentado como solução otimizada e a serra anterior. São esclarecedores os ganhos de produção com a implementação das medidas de melhoria sugeridas.

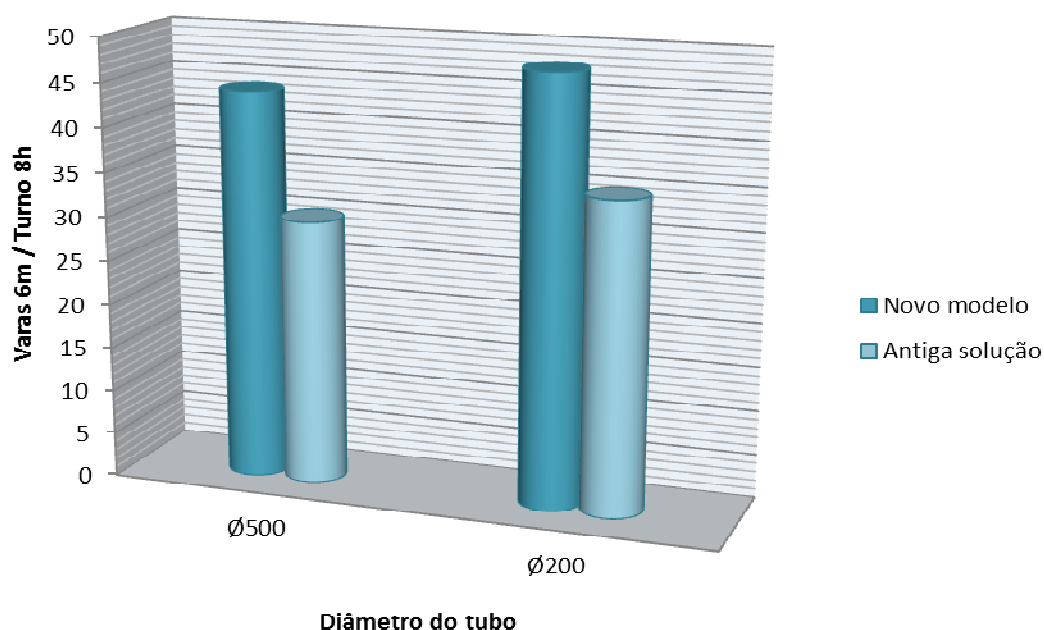


Figura 53 - Comparação da produção de tubos de Ø200 e Ø500

A Tabela 30 mostra especificamente os valores da produção de tubos de diâmetro de 200mm e diâmetro de 500mm na serra existente com os resultados calculados de produção na serra otimizada. É evidente o aumento da produção prevista com a implementação das soluções apresentadas.

Tabela 30 - Dados de produção dos tubos de Ø500 e Ø200

Serra de dreno		Varas de 6 metros [uni]	
		Tubo Ø500	Tubo Ø200
1	Novo modelo	44	48
2	Antiga solução	30	35
Aumento de produção		47%	37%

5.2 Aspeto estrutural

O aspeto estrutural, por tudo o que foi referido no ponto anterior é claramente otimizado. A redução da quantidade de peças a fabricar, a redução da quantidade de componentes a comprar para posteriormente montar é evidente, daí toda a estrutura ficar mais compacta e funcional.

A Tabela 31 mostra a quantificação das melhorias sugeridas face à serra fabricada.

Tabela 31 - Evolução estrutural da serra

Serra inicial		Serra otimizada	
Qtd	Designação	Qtd	Designação
	Conjuntos de braços de corte		Conjuntos de braços de corte
6	Conjuntos dos braços e veio dos discos de corte com 50 peças e 300kg	3	Conjuntos dos braços e veio dos discos de corte com 30 peças e 100kg
6	Conjuntos dos veios dos discos de corte com 20 peças e 25kg	3	Conjuntos dos veios dos discos de corte com 10 peças e 10kg
6	Motores de acionamento	3	Motores de acionamento
	Motores dentro da zona de corte	3	Motores fora da zona de corte
12	Cilindros para movimentação	1	Cilindro para movimentação
	Sem isolamento sonoro		Com isolamento sonoro

A geometria, as dimensões e o peso são alguns dos aspetos que foram tidos em consideração durante o processo de reengenharia, deste modo, irá ocorrer uma redução de matéria-prima, mão-de-obra, tempos e resultante disso a diminuição de possíveis erros no fabrico e na montagem.

Allison Sarmiento no estudo desenvolvido com a aplicação do DFA proporcionou uma redução de 10% no custo do produto, 5% no custo de ferramentas e também a simplificação do produto (Sarmiento et al. 2010).

5.3 Manutenção

Para facilitar, e de uma forma segura, a manutenção da serra de dreno, os motores passaram todos para fora da zona de corte. Por si só, os motores ficam menos sujeitos a lixos e poeiras o que reduz a necessidade de manutenção, por outro lado estão facilmente acessíveis para limpeza e manutenção.

Quando o operador necessitar de efetuar a manutenção aos braços dos discos de corte, estes estão facilmente acessíveis, se por alguma razão não estiverem, existe a possibilidade de rodar o prato e posicionar adequadamente os braços.

A redução do número de peças, a simplificação do sistema mecânico, a acessibilidade aos pontos de manutenção levam a um aumento da manutibilidade do equipamento, então, pelas mesmas razões o tempo médio para reparar (MTTR) vai diminuir.

Com a implementação das medidas agora propostas e a verificação do aumento da fiabilidade da nova serra de dreno, o tempo médio entre falhas (MTBF) espera-se que reduza, assim sendo a necessidade de intervir no equipamento para uma manutenção corretiva será menor.

Com as alterações propostas, iremos obter uma redução de custos de manutenção, em discos de corte. Em dois conjuntos de discos de corte para a serra, por ano, poupar-se-á perto de 10000€, uma poupança de 67.8%.

5.4 Troca de ferramentas

Quando há a necessidade de trocar os veios dos discos de corte, basta desaparafusar quatro parafusos e o conjunto do veio com os discos fica acessível para troca de ferramentas.

Como o veio é de dimensões reduzidas, o operador pode ter o conjunto de discos de corte já pronto para trocar quando houver necessidade com a vantagem desta operação poder ser feita enquanto a máquina está a produzir normalmente. Na versão antiga esta possibilidade não era viável porque o conjunto dos discos de corte era muito comprido e era composto por várias peças.

O tempo estimado para esta operação, de troca de ferramentas, é de vinte minutos, realizada por um operador. Na versão antiga da serra, para esta operação, eram precisos dois operadores e demorava oito horas.

O aumento de disponibilidade da máquina é claro, no mesmo turno, sempre que haja a necessidade de trocar os discos de corte, rapidamente a serra está pronta a produzir.

A Figura 54 mostra os valores comparativos da serra de dreno antiga com a solução apresentada em alternativa, o ganho com a redução de tempos é extremamente elevado, com a nova solução construtiva, em relação ao modelo anterior, há uma redução de 97.9%.

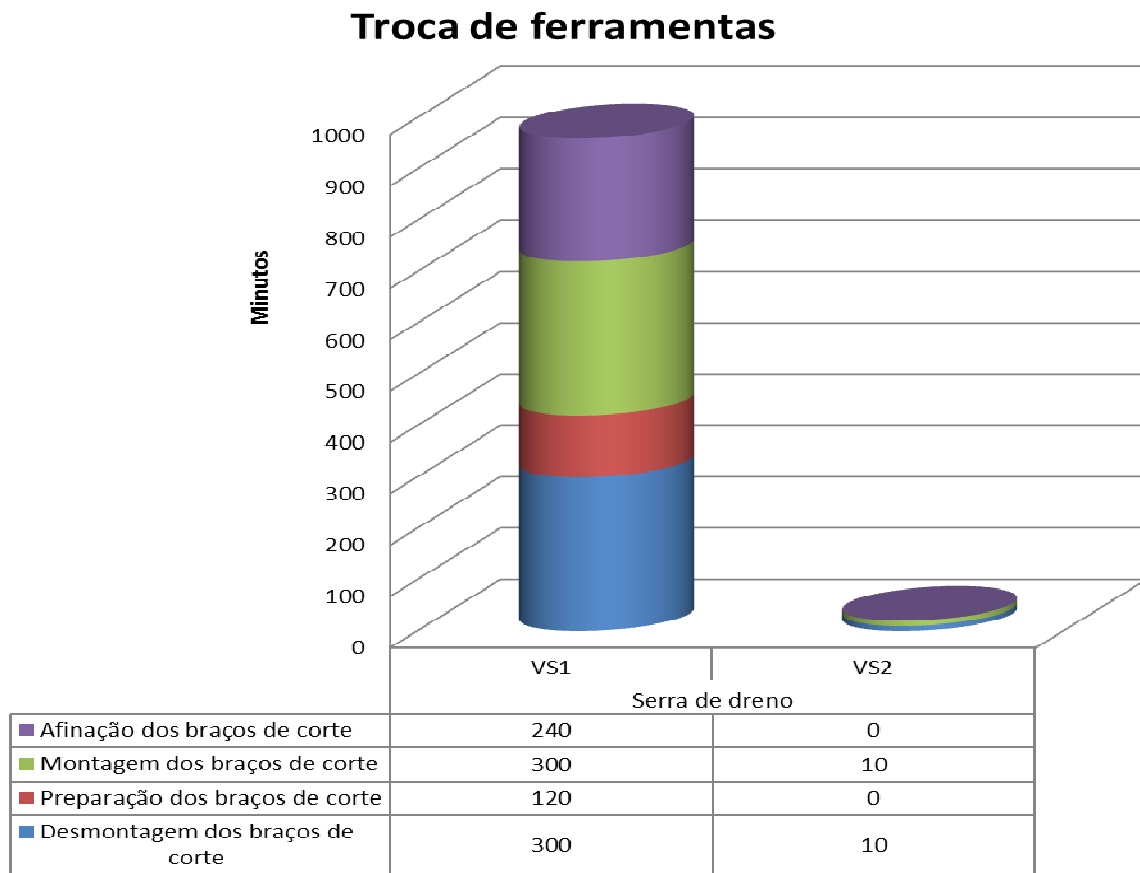


Figura 54 - Comparação dos tempos de troca de ferramentas

5.5 Ruído

O ruído gerado pela rotação dos discos de corte vai obrigatoriamente diminuir devido às alterações sugeridas. A redução de seis para três braços com discos, a diminuição do diâmetro dos discos de corte e a aplicação da placa de isolamento acústico nas laterais da câmara de corte dão garantias da redução dos índices de ruído emitidos pela solução alternativa.

Os índices de ruído registados indicavam valores acima do normal, com as medidas aplicadas é expectável que os níveis de ruído baixem para valores perfeitamente normais para o tipo de equipamento em questão.

Tem de se ter a noção que na realidade este é um equipamento que produz muito ruído, sendo assim, o operador deve estar protegido com os respetivos equipamentos de proteção individual.

5.6 Custos de fabrico, operação e manutenção

Agora, conhecendo a máquina e os problemas que foram ocorrendo causadores de desperdícios a vários níveis, fabrico, construção, manutenção, operação, matéria-prima, fiabilidades, operacionalidade entre outros, podendo converter em valor monetário daria um custo demasiado elevado. Com as alterações propostas há a redução de custos no fabrico devido à simplificação do sistema mecânico e a redução significativa do número de componentes. Ao nível dos custos da manutenção há a redução do preço dos discos de corte, a quantidade de discos de corte, o tempo gasto para esta operação é reduzido e com rolamentos e atuadores bem dimensionados há uma menor ocorrência de manutenção corretiva e o tempo entre falhas aumenta. Os custos com a troca de ferramentas é drasticamente reduzido assim há a redução direta de custos na operação e na disponibilidade do equipamento. Com a alteração do sistema de corte há também a redução do número de motores, nesta alternativa os motores são de potência mais elevada. No total as potências são similares mas há uma redução no consumo energético na nova versão, uma poupança que se fará sentir, por parte do cliente, ao longo do período de vida do equipamento.

Com as sugestões de otimização apresentadas os problemas de funcionamento ficam resolvidos/minimizados e os custos de fabrico, operação e manutenção vão diminuir.

Um equipamento industrial, do tipo serra de dreno para a gama de tubo Ø200 a Ø500mm tem, em valores gerais, um custo de fabrico de 120.000€, com as alterações apresentadas, a redução do número de peças, motores, cilindros e uma reengenharia para reduzir custos de fabrico, podemos chegar a ter uma redução de 20.000€, ou seja, 16.7% de redução nos custos diretos de fabrico/construção.

A Tabela 32 mostra os valores, resumidamente, calculados na redução de custos de fabrico para a produção de uma nova serra segundo a solução alternativa.

Tabela 32 - Redução de custos de fabrico

Redução de custos	
Redução de 3 motores	2.500€
Redução de 3 conjuntos de corte	12.000€
3 Conjuntos de corte reduzidos	1.500€
Redução de 11 cilindros	4.000€
Total	20.000€

5.7 Eficiência e disponibilidade

Hoje em dia, e cada vez mais, a qualidade dos produtos, a maximização do desempenho dos equipamentos e a realização de produções dentro de padrões altamente rigorosos, são fatores essenciais aos quais as empresas procuram alcançar para sobreviverem num mercado cada vez mais competitivo.

O índice de eficiência e disponibilidade do novo equipamento vai aumentar devido à diminuição da ocorrência de falhas e avarias dos componentes mecânicos constituintes, também pela diminuição do tempo de troca de ferramentas necessário. O índice de performance vai ser influenciado pelo aumento da velocidade e capacidade de produção do novo equipamento. O índice de qualidade vai ser melhorado devido ao sincronismo que os braços de corte estão sujeitos e ao modo de corte com ataque tangencial ao tubo, deste modo consegue-se uma redução da produção de tubos de dreno defeituosos, conseqüentemente uma diminuição de desperdício de matéria-prima bem como o tempo de retomar a produção normal depois de uma paragem forçada.

5.8 Marcação CE

O método de avaliação simplificado permite quantificar a amplitude dos riscos e hierarquizar as prioridades de intervenção.

O ponto de partida é a deteção das não conformidades detetadas nos locais de trabalho para, em seguida, se proceder à estimação da probabilidade de ocorrer um acidente e, face à magnitude, avaliar o risco associado a cada uma das conseqüências (Freitas 2011).

Pontos a quantificar no método de avaliação simplificado:

- Nível de deficiência
- Nível de exposição
- Nível de probabilidade
- Nível de conseqüências
- Nível de risco e nível de intervenção

Nos Anexos J e K podem-se encontrar respetivamente as análises de riscos da serra de dreno antes e depois das alterações propostas, podendo verificar-se a existência de alguns riscos que, com a implementação das soluções de melhoria, são corrigidos. De notar que a análise à nova serra apresenta claras melhorias e eliminação de potenciais riscos ao operador e máquina.

A Tabela 33 apresenta um resumo comparativo da análise de riscos entre a versão antiga e a nova solução apresentada da serra de dreno.

Tabela 33 - Comparação de riscos entre a máquina antiga e a nova

Perigo	Solução existente	Solução proposta
Contato com o motor	Frequente	Esporádico
Posturas inadequadas	Frequente	Esporádico
Ruido	Frequente	Esporádico
Contato com elementos móveis	Frequente	Frequente
Contato com discos de corte	Frequente	Frequente
Movimento de peças pesadas	Frequente	Esporádico

5.9 Resumo das melhorias

A Tabela 34 apresenta resumidamente as melhorias previstas com a implementação das ações de correção à serra de dreno existente. De registrar que, sendo ainda um projeto na fase de estudo e desenvolvimento, passa-se de um equipamento com inúmeros problemas para um novo equipamento que garante um bom desempenho de funcionamento e qualidade.

Tabela 34 - Resumo das melhorias previstas

Designação	Serra existente	Serra otimizada	Melhoria
Produção de tubo Ø500mm	30uni/8h	44uni/8h	47%
Produção de tubo Ø200mm	35uni/8h	48uni/8h	37%
Custo de discos de corte	7500€/substituição	2500€/substituição	66%
Tempo de troca de ferramentas	960min/operação	20min/operação	98%
Custos de fabrico			17%
Existência de riscos	Alta	Baixa	
Eficiência e disponibilidade	Baixa	Alta	
Ruido	Elevado	Normal	

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

6. Conclusões

O processo de reengenharia levado a cabo neste projeto traduziu-se em muitas melhorias em vários aspetos, nomeadamente, pela otimização do sistema de corte, pela melhoria de diversos fatores operacionais com vista ao aumento da fiabilidade do equipamento e pelo decréscimo significativo obtido nos tempos de *setup* face à versão anterior do equipamento.

Pese embora o novo equipamento não se tenha ainda materializado, os cálculos efetuados e as alterações ao sistema de corte revelam melhorias significativas, fruto da aplicação dos princípios SMED e da metodologia DFMA, constituindo boas práticas de projeto de equipamentos, aplicáveis quer a produtos novos, quer à reengenharia de produtos.

No que concerne ao sistema de corte, onde incidiu uma forte componente de reengenharia, essencialmente também, por este subsistema ser a maior fonte de problemas na versão anterior da serra de dreno. A mudança operada no processo de corte, agora com 3 braços, traduziu-se no projeto de uma nova solução para suporte dos discos de corte, mais compacta e incorporando soluções de montagem simplificadas, facilitando a sua troca, quer por necessidade de troca de ferramenta, quer por eventuais necessidades de manutenção. Considerando a realização de 2, 4 ou 6 rasgos no tubo, que implica uma rotação dos discos para uma nova posição, os tempos de operação por corte mantêm-se similares, contudo agora com menos possibilidade de problemas no ataque dos discos de corte aos tubos. A versão anterior do equipamento utiliza ataque direto ao tubo, com discos de 260mm, o que em alguns casos, resultava na deformação perimetral do tubo. A nova versão preconiza o ataque em arco, com discos mais pequenos (200mm), suavizando a entrada dos discos na parede do tubo, com implicações significativas para a qualidade do corte realizado e para a vida da ferramenta de corte.

A alteração ao sistema de corte implicou o redimensionamento de todos os atuadores e elementos de transmissão de movimento associados. Nesta vertente, foram aplicados diversos princípios SMED, desde a diminuição do número de componentes, a padronização de componentes, peças com características de auto-localização, redução dos níveis de montagem, facilidade na manipulação de peças ou a otimização da sequência de montagem tudo em busca da excelência.

Atendendo que o equipamento deverá estar preparado para realizar cortes de drenagem em tubos desde 200 a 500mm, os parâmetros de corte foram otimizados para proporcionarem um bom desempenho nas condições mais desfavoráveis. Tendo em conta os parâmetros de corte, nomeadamente, avanço e velocidade de corte, as ferramentas foram redefinidas considerando a redução de diâmetro dos discos de corte e as novas condições de corte preconizadas para a nova versão da serra de dreno. A otimização das condições de corte e a redução do diâmetro dos discos resultará igualmente numa redução de custos, considerando não só a aquisição das ferramentas como também no aumento da vida útil esperado para as mesmas.

A redução de ruído foi uma preocupação obrigatória de resolver quer para a saúde e bem-estar dos operadores quer para marcação CE obrigatória do equipamento. As alterações realizadas ao sistema de corte, contemplando novos elementos de guiamento e menos componentes permitem antever uma diminuição da vibração do equipamento. A redução do número de braços de corte, de 6 para 3 e com discos mais pequenos são fatores que vão contribuir para uma redução do ruído de funcionamento do equipamento. Tendo a consciência que este processo de corte é naturalmente ruidoso, foram seleccionados elementos de isolamento acústico a envolver a unidade de corte. Todas as medidas adotadas dão garantias de se fabricar um equipamento onde os índices de ruído se enquadram com os parâmetros legais exigidos para o bom funcionamento e pela segurança dos demais.

No que se refere à marcação CE, a reengenharia sofrida pelo equipamento teve sempre em consideração a Diretiva Máquina, observando todas as indicações de segurança aplicáveis. Das análises de riscos realizadas à versão anterior do equipamento e à nova versão preconizada neste trabalho, é possível concluir que os riscos para o operador e para o equipamento propriamente dito foram seriamente reduzidos, com particular impacto na componente ergonómica, fruto da redução de peso dos componentes a suportar pelo operador na operação de mudança de ferramenta (20 para 8kg), uma redução de 60%.

A componente custos está intimamente presente num projeto desta natureza, seja pela redução do número de componentes, pela simplificação de vários subsistemas do equipamento ou pela alteração operada ao sistema de corte, quer do ponto de vista mecânico, quer do ponto de vista do processo de corte. O sincronismo na atuação dos braços de corte, imposto nesta nova versão do equipamento, permite que haja apenas um atuador. As alterações impostas à

estrutura permitem a sua simplificação e reduzem o seu tempo de fabrico.

Considerando custos de operação, admite-se que haja ganhos nas ferramentas, fruto da melhoria das condições de corte e consequente aumento da vida útil. Observando esta componente pela energia consumida pelo equipamento, é possível constatar que mesmo reduzindo o número de braços de corte, de 6 para 3, e selecionando atuadores para os discos de corte que mantivessem as condições de corte ideais para toda a gama de tubos, os atuadores dos discos tiveram de ter a sua potência motora revista de 6 motores de 4kW cada para 3 motores de 7,5kW cada, traduzindo-se numa ligeira redução de 8.8% no consumo de 51A para 46.5A.

Do ponto de vista dos custos de manutenção, dada a revisão sofrida por todos os sistemas atuadores, sistemas de transmissão de movimento e sistema de corte, é expectável que haja um aumento significativo da disponibilidade do equipamento.

Das conclusões anteriores é possível reter que os ganhos estimados em várias vertentes deste projeto se traduzem num incremento potencial da eficiência da nova versão do equipamento.

Dado o exposto podemos concluir que o objetivo inicial de alcançar uma solução alternativa, à serra de dreno, que apresenta-se medidas de melhoria e correção aos problemas observados, é totalmente conseguido. É de realçar a solução apresentada pela qualidade, melhorias e ganhos que vem trazer ao equipamento de corte. A produção é incrementada em 47% e 37% nos tubos de diâmetro 500mm e 200mm respetivamente, este aumento significativo é resultado da reengenharia aplicada ao sistema de corte inovador. Pela mesma razão, devido às alterações propostas, todo o aspeto estrutural é otimizado e o número de constituintes é reduzido, desta forma os custos de fabrico baixam em 16.7%. Na nova versão da serra de dreno, com um sistema único de avanço de corte e posicionamento fixo dos discos de corte, consegue-se uma máquina mais eficiente e com maior fiabilidade refletindo-se no produto final com melhor qualidade e menor desperdício de material. Ao proporem-se discos de diâmetro menor conseguem-se reduções de 67.8%, ao ano, nos custos dos discos de corte, esta medida também ajuda na redução do ruído que em conjunto com a redução do número de discos de corte e o isolamento aplicado fazem baixar o nível de ruído, situação anteriormente crítica, mas ultrapassada, permitindo, cumprindo todos os outros requisitos exigidos por lei, a marcação CE. Os operadores podem agora realizar as operações de manutenção em segurança pois há menos braços de corte e mais espaço de operação. A melhoria mais evidente nesta alternativa apresentada, é o tempo de troca de ferramentas, com este novo mecanismo há uma

redução de 97.9% no tempo de troca de ferramentas.

Trabalhos futuros

São claras as melhorias aqui apresentadas e demonstradas, no entanto ainda há alguns pontos da serra onde se pode intervir, são eles:

- Confirmar se o ruído do equipamento está efetivamente abaixo dos 85dB
- Sistema de exaustão das rebarbas do corte
- Sistema de aperto do tubo corrugado
- Alimentação do tubo para corte
- Realização do dossier máquina para marcação CE

Na eventualidade de se fornecer um equipamento completo e automático para corte e embalamientos, pode-se desenvolver:

- Mesa para armazenamento do tubo (antes e depois da serra de dreno)
- Transportador (antes e depois da serra de dreno)
- Equipamento de embalamento e amarração do tubo

Bibliografia

- Amaral, A.T. do, 2007. *O uso do método DFA (Design for Assembly) em projeto de produtos objetivando a melhoria ergonômica na montagem*. Universidade Federal de São Carlos.
- APIP, 2014. Associação Portuguesa da Indústria de Plásticos. Available at: <http://www.apip.pt/NormalizacaoONS/NormasEditadas.aspx> [Accessed August 12, 2014].
- Auburn, U., 2007. *Predetermined Time Systems*. , p.37.
- Barbosa, G.F., 2007. *Aplicação da metodologia DFMA – Design for Manufacturing and Assembly no projeto e fabricação de aeronaves*. Universidade de São Paulo-USP.
- Barbosa, G.F., 2012. *Desenvolvimento de um modelo de análise para implantação de automação na manufatura aeronáutica, orientado pelos requisitos das metodologias de Projeto para Excelência*. Escola de Engenharia de São Carlos - USP.
- Baruffaldi, 2014. Baruffaldi Plastic Technology S.r.l. | Extrusion technology. Available at: <http://www.baruffaldi.eu/> [Accessed September 14, 2014].
- Beltrán, M. & Marcilla, A., 2014. *Tecnología de Polimeros Tema 4.Extrusión*. In *Tecnología de Polimeros*. p. 67.
- Boothroyd, G. (University of M. & Dewhurst, P. (University of M., 1984. *Design for Assembly - Machine Design*, Penton/IPC, Inc. Available at: <http://deed.ryerson.ca/~fil/t/dfmdfa.html> [Accessed December 4, 2014].
- Carvalho, L.B., 2008. *Produção de polipropileno bi-orientado (bopp): tecnologia e aplicações*. Escola de Tecnologia e de Gestão de Bragança.
- Chan, V. & Salustri, F.A., 2005. *Design for Assembly - Chan*. Available at: <http://deed.ryerson.ca/~fil/t/dfmdfa.html>.
- Corma, 2014. Corma - Corrugators for the production of corrugated plastic pipes. Available at: <http://corma.com/> [Accessed November 19, 2014].
- Costa, A., 2012. *Projecto Mecânico 3D: Evolução, Desafios e Oportunidades*. , p.4. Available at: http://www.cenfim.pt/artigos/2012/projecto_mecanico_3D.pdf [Accessed September 23, 2014].
- Costa, E. et al., 2013. *Benefits from a SMED Application in a Punching Machine*. *International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial and Mechatronics Engineering*, 7(5), pp.379–385.

- Europeu, P., 2006. Diretiva 2006/95/CE. *Jornal Oficial da União Europeia*, p.10.
- Fersil, 2010. *Manual técnico - Saneamento e Drenagem* MT008–08 ed.,
- Fibermesh007, W.C., 2010. HDPE/PVC Double wall corrugated pipe machine. Available at: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Double_wall_corrugated_pipe_machine.jpg [Accessed September 20, 2014].
- FitzGerald, A., 2001. Design for Maintainability (DFM). *START Selected Topics in Assurance Related Technologies*, 8(4), p.4.
- Freitas, L.C., 2011. *Segurança e saúde do trabalho* 2ª Edição. E. L. Sílabo, ed., Lisboa: Rolo & Filhos II, SA.
- Frezite, 2010. *Ferramentas de corte para Madeira*,
- Gomes, E. et al., 2013. *Segurança de máquinas e equipamentos de trabalho* Lisboa, no. A. para as C. do T. ACT, ed., Lisboa.
- Greenlee, R., 2014. *Design for Manufacturing - Guidelines* Second Edi., Albuquerque, NM 87131, USA: Prentice Hall. Available at: <http://www.unm.edu/~bgreen/ME101/dfm.pdf> [Accessed September 22, 2014].
- Guarraia, P., Saenz, H. & Emilia, F., 2012. *Como reduzir custos de forma sustentável e manter a redução a longo prazo*, Available at: http://www.bain.com/offices/saopaulo/pt/Images/Sustained_cost_transformation_POR.pdf [Accessed September 21, 2014].
- Hutchinson, 2014. Poly V Design | Hutchinson Belt Drive Systems. Available at: <http://www.hutchinsontransmission.com/resource-center/online-calculation-sofwares/poly-v-design> [Accessed September 13, 2014].
- IPQ, 2014a. Compatibilidade Eletromagnetica. Available at: http://www1.ipq.pt/PT/AssuntosEuropeus/MarcacaoCE/ListaDasDirectivas/Pages/Portativa/Compatibilidade_Eletromagnetica.aspx [Accessed December 31, 2014].
- IPQ, 2014b. Marcação CE. Available at: <http://www1.ipq.pt/pt/assuntos europeus/marcacaoce/Pages/MarcacaoCE.aspx> [Accessed September 6, 2014].
- ISO/TC 199, 2010. ISO 12100:2010(en) - Safety of machinery — General principles for design — Risk assessment and risk reduction. Available at: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:12100:ed-1:v1:en> [Accessed September 25, 2014].
- Kalyun, M. & Wodajo, T., 2012. *Application of a Design Method for Manufacture and Assembly*. Chalmers University of Technology. Available at: http://www.pantura-project.eu/Downloads/Application_of_a_Design_Method_for_Manufacture_and_Assembly_WP4_Master's_Thesis_201229.pdf [Accessed September 22, 2014].

- Klippel, B., 1998. *A Design Methodology for Automotive Component Manufacturing Systems*. Massachusetts Institute of Technology. Available at: <http://dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/50428/41494729.pdf> [Accessed September 22, 2014].
- Kušar, J. et al., 2010. Reduction of Machine Setup Time. *Journal of Mechanical Engineering*, 56, pp.833–845.
- Lehto, J. et al., 2011. Benefits of DfX in Requirements Engineering. *Technology and Investment*, 02(01), pp.27–37. Available at: <http://www.scirp.org/journal/PaperDownload.aspx?DOI=10.4236/ti.2011.21004> [Accessed December 21, 2014].
- Marques, Â.S. et al., 2013. A importância dos sistemas CAE/CAD/CAM na fabricação de matrizes para o forjamento a quente de um flange. In Porto Alegre, p. 12.
- MEI, 2008. DL 103/2008. *Diário da Republica*, p.31.
- Montoya, L., 2012. *Guideline on the application of directive 2006/95/EC*,
- Mota, P.M.P., 2007. *Estudo e implementação da metodologia SMED e o seu impacto numa linha de produção*. Instituto Superior Técnico - Universidade Técnica de Lisboa. Available at: <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395137451446/Tese.pdf> [Accessed September 22, 2014].
- MTM, A., 2014. MTM Association for Standards and Research. Available at: <http://www.mtm.org/systems.htm> [Accessed December 23, 2014].
- MTM Portugal, A., 2009. O sucesso é uma questão de planeamento. , p.42. Available at: <http://pt.slideshare.net/MTMportugal/associacao-mtm-portugal>.
- MTSS, 2006. Decreto-Lei nº182/2006 de 6 de Setembro - “Prescrições mínimas de segurança e saúde respeitantes à exposição dos trabalhadores aos riscos devido ao ruído.” *Diário da Republica*, pp.6584–6593.
- Mulder, W. et al., 2013. *Design for Maintenance - A set of design guidelines*, Twente.
- Neto, G.G.D., 2009. *Desenvolvimento e aplicação de um programa computacional , para abordagem sistemática de desenvolvimento de produtos e serviços* *Desenvolvimento e aplicação de um programa computacional , para abordagem sistemática de desenvolvimento de produtos e serviços*. Universidade Estadual de Campinas.
- Nunes, M.J.L., 2004. *Metodologias de desenvolvimento de novos produtos industriais*. Escola de Engenharia da Universidade do Minho.
- OIT, O.I. do T., 2009. *Ruído no trabalho*, Genebra.
- Pedreira, 2014. Drenagem de Campo de Futebol. Available at: <http://www.pedreira.com.br/geral/drenagem-de-campo-de-futebol-passo-a-passo/> [Accessed September 23, 2014].

- Periplast, 2014. Periplast - Extrusion Expertise. Available at: <http://www.periplast.pt/> [Accessed September 21, 2014].
- PLASTIMA, G., 2014. Plastima : Accueil. Available at: <http://www.plastima.com/> [Accessed March 22, 2015].
- Politejo, 2014. Manual de Tubos de Drenagem Ambidrenos. , p.8.
- PPI, 2014. Plastics Pipe Institute. Available at: <http://plasticpipe.org/index.html> [Accessed September 20, 2014].
- Reuters, 2012. Siemens CEO: Productivity is key to cost cutting. Available at: <http://www.reuters.com/video/2012/11/08/siemens-ceo-productivity-is-key-to-cost?videoId=238994095&feedType=VideoRSS&feedName=Business&videoChannel=5> [Accessed September 21, 2014].
- Santos, A. dos, 2014. *Medida dos tempos dos métodos (MTM)*,
- Santos, R. & Martins, J.G., 2004. *Materiais de Construção* 1ª edição.,
- Sarmiento, A., 2009. *Seminário : Estudo de caso da aplicação da ferramenta DFA (Design For Assembly) em uma tampa de combustível (portinhola) de um veículo automotivo* Objetivos Introdução à Ferramenta DFA Metodologia de Lucas Estudo de Caso Conclusão e Considerações Finai, São Paulo.
- Sarmiento, A.A. et al., 2010. *Projeto Orientado para Montagem: Aplicação de ferramenta DFA (Design for Assembly) em tampas de combustível de um veículo automotivo*, Campina Grande - Paraíba - Brazil.
- Schaeffler, T., 2014. Deep groove ball bearings - 6004-2RSR. Available at: http://medias.schaeffler.com/medias/en!hp.ec.br.pr2/60.-2RSR*6004-2RSR?mode=calc&clrsb=1 [Accessed March 25, 2015].
- Scur, A.R., Schneider, E.L. & Lorini, F.J., 2013. Aplicação do Design for Assembly (DFA) no Desenvolvimento do Projeto Conceitual de um Dispositivo Funcional. *pgdesign*, 06, p.9.
- Sharma, K. et al., 2014. Setup time reduction for CNC hobbing machine implementting SMED and Design of “Split Fixture.” In *Proceedings of 6th SARC-IRF International Conference*. New Delli, pp. 69–74.
- Silva, D.D. da, 2007. *Utilização da ferramenta MTM para auxílio reprojeto de um produto com foco no processo de montagem*. Universidade do Entado de Santa Catarina.
- Silva, G.M. da, 2014. *Tecnologia de projetos III*, Mogi Mirim SP.
- Soares, S. (Cenfim), 2008. Directiva Máquinas e Equipamentos de Trabalho - Aplicação prática no CENFIM. , pp.1–2.
- Sports, W., 2014. Sistema de Drenagem. Available at: <http://www.worldsports.com.br/noticia/74> [Accessed September 21, 2014].

Sugai, M., 2003. *Avaliação do uso do MTM (Methods-Time Measurement) Em uma empresa de Metal-Mecânica*. Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica.

Teclena, 2011. *Catalogo de Cilindros Hidráulicos*. , p.14.

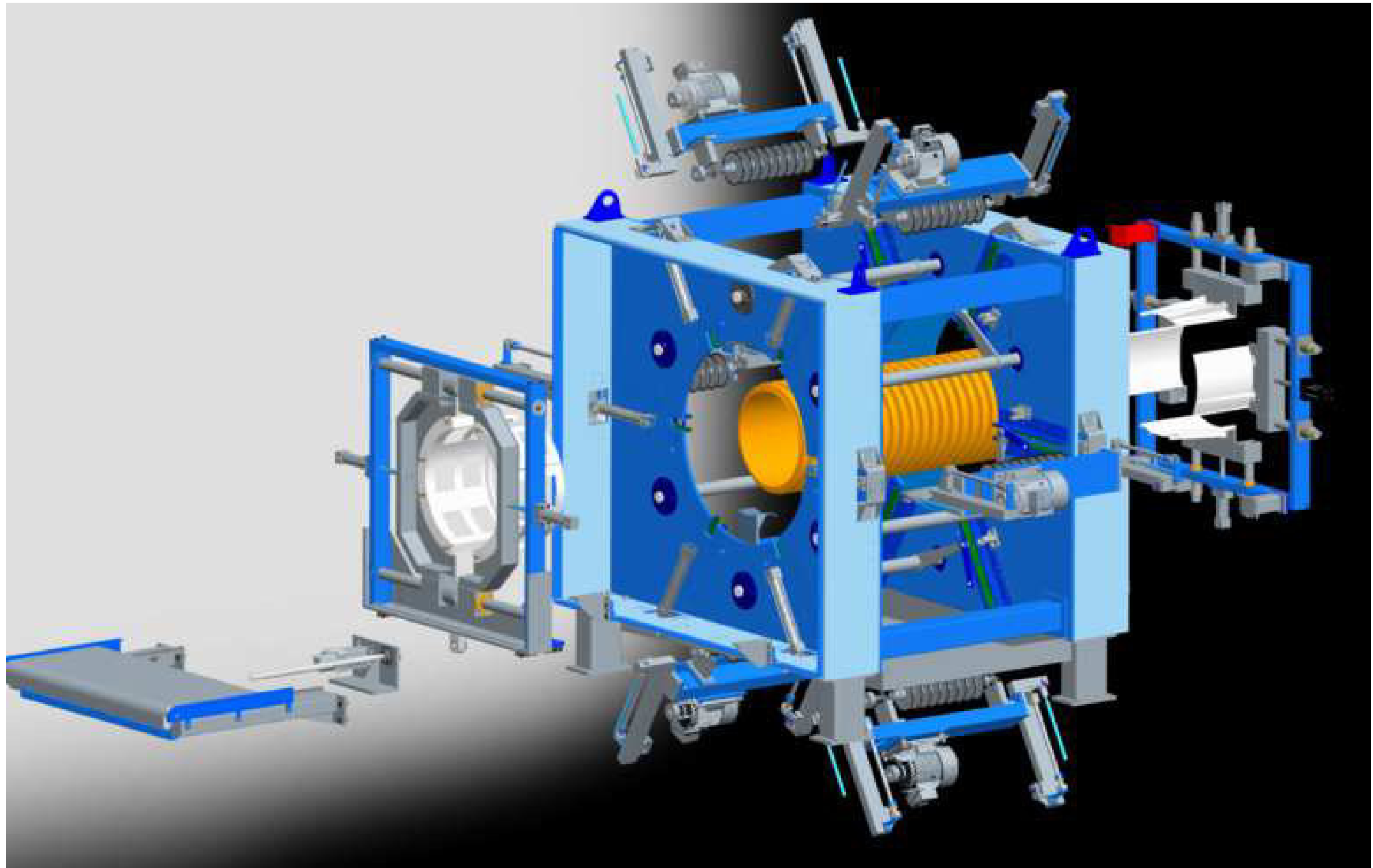
Unicor, 2014. UNICOR - the corrugator experts. Available at:
<http://www.unicor.com/index.pt.html> [Accessed November 18, 2014].

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Anexos

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

A - Serra de Dreno - Vista explodida



B – Inquérito realizado

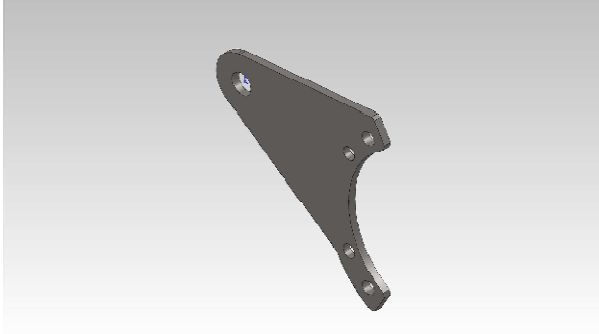
	Nome	Empresa	Eficiência	Fiabilidade	Segurança	Tempos de Setup	Manutenção	Custos de Manutenção	Ruido	Preço
1	Nuno Mota	Carlis	80	80	90	70	80	80	70	80
2	Pedro Vitorino	Cetelel	80	95	90	75	70	80	60	85
3		Martinho, Moutinho & Cia, Lda	100	100	100	100	100	100	95	100
4	Pete Gildenhuis	Fibrex	90	95	50	75	80	85	80	90
5	Susana Oliveira	Sensordin	100	100	100	100	100	100	100	100
6	João Tavares	Redvario	70	70	70	50	60	60	50	70
7		Hidromarinha	100	100	100	90	90	80	70	70
8	David Bento	Leirimetal	95	95	90	10	50	50	70	70
9	Mário Vidal	Periplast	90	90	90	100	85	85	85	90
10	Diogo Carvalho	Poço	95	90	60	65	60	60	60	80
11	Diogo Couto	Poço	95	75	75	75	75	75	55	95
12	Fernando Batista	Poço	100	100	95	90	85	85	80	90
13	Hélder Fonseca	Poço	90	80	80	60	80	80	60	70
14	André Figueira	Poço	90	90	85	70	80	95	88	95
15	Helder Correia	Periplast	95	95	95	95	85	85	95	95
16	Filipe Silva	Poço	90	90	85	90	85	91	80	85
17	Carlos Marques		70	70	50	60	70	50	50	70
18	Ricardo Santos	Poço	80	75	90	95	85	70	60	75
19	Marta Vasconcelos	Poço	100	100	90	99	95	95	85	90
20	Ricardo Seça	Poço	80	85	100	70	70	70	80	85
21	Sérgio Alves	Periplast	75	95	80	50	70	50	80	60
22	Rui Calmeiro	Poço	90	90	100	90	80	80	100	80
23	Jorge Figueiredo	Poço	90	90	100	70	70	80	70	90
24	Carlos Cordeiro	Electrofer	100	100	100	75	75	75	75	50
25	Sérgio Dias	Periplast	80	85	95	75	70	89	65	90
26	Dora Caetano	Poço	95	95	90	80	80	80	90	90
27	Mónica Cruz	Poço	95	95	95	95	70	70	80	85
28	Fátima Martins	Individual	95	95	95	65	70	70	61	70
29	Nuno Jorge	Diamantino Jorge e Filho	80	80	80	80	70	90	60	90
30	Filipe Teixeira	Grupo ACA	90	90	100	65	100	90	65	90
31	António Pinto	Spintos	90	100	100	90	80	90	90	90
32	José Marques	JM Gracio	100	95	100	80	95	90	90	90
33	Carlos Gil	Carlos Gil Lda	100	94	95	85	80	90	84	96
34	Henrique Costa	Filkemp	100	100	100	100	100	100	100	100
35	Antero Correia	Poço	85	75	95	75	75	75	85	75
36	Carlos Salvado	Poço	95	95	92	90	90	90	90	90
37	Humberto Oliveira	Bresimar	90	80	100	30	70	60	75	60
38	Óscar Napoleão	Omec Motors	90	90	70	50	90	50	70	50

Continuação

39	Luís Pragosa	Cabopol	92	95	100	95	94	90	95	90
40	Liliana Pereira	Grupo Valco	100	90	95	95	80	95	70	90
41	Tiago Barroso	SEW-Eurodrive Portugal	95	95	100	50	95	95	85	85
42	Magno Jacinto	Omron	95	95	95	75	70	80	70	80
43	Fernando Costa	Teclena	95	95	95	75	75	50	50	50
44	Bartolomeu	SEW-Eurodrive Portugal	95	98	100	91	94	85	91	80
45	Filipe Regalo	Cabopol	90	80	80	90	90	85	60	65
46	Miguel Rego	Triu	90	90	100	87	90	80	75	81
47	Paula Cristina	Vitor Santos, Lda	95	95	95	91	95	91	75	85
48	Nelson Carvalho	Ambigroup	90	92	95	8	90	92	80	95
49	Luís Campos	Novalec	90	95	100	90	85	70	70	95
50	José Luís	Cobel	100	100	100	100	100	100	100	100
51	Maria do Céu Fonseca	Triu	95	91	100	80	90	80	85	99
52	Paula Figueiredo	Heliflex	99	90	100	90	90	91	80	85
53	Magda dos Santos	Plasdan	95	95	95	85	90	80	85	75
54	Carlos Santos	Beatriz Godinho	95	95	85	63	80	90	63	70
55	Henrique Fonseca	Plasdan	100	90	100	90	100	90	100	90
56	João Vale	Daniel Morais	90	90	100	90	100	100	90	90
57	Raquel Vaz	CLV Eelectrotecnia	85	95	100	70	70	82	65	85
58	Pedro Babo	Mais Automação	90	96	85	75	75	75	60	85
59										
60										
		Média	91	91	91	77	82	81	77	83

C - Desenhos de fabrico e montagem

D – Simulação estática ao braço do cilindro hidráulico



Description

No Data

Simulation of CH10.00

Date: segunda-feira, 23 de Março de 2015

Designer: Solidworks

Study name: Study 1

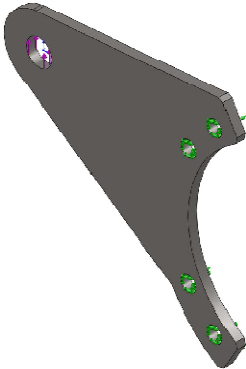
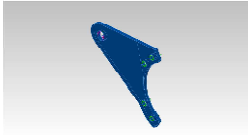
Analysis type: Static

Table of Contents

Description	1
Assumptions	2
Model Information	2
Study Properties	2
Units	4
Material Properties	4
Loads and Fixtures	4
Connector Definitions	6
Contact Information	6
Mesh Information	6
Sensor Details	7
Resultant Forces	7
Beams	8
Study Results	8
Conclusion	10

Assumptions

Model Information

			
Model name: CH10.00 Current Configuration: Default			
Solid Bodies			
Document Name and Reference	Treated As	Volumetric Properties	Document Path/Date Modified
Split Line1 	Solid Body	Mass:5.88455 lb Volume:20.8825 in ³ Density:0.281793 lb/in ³ Weight:5.88056 lbf	D:\CALCULO SAMUEL\10\CH10.00.SLDP RT Mar 22 22:46:40 2015

Study Properties


Study name	Study 1
Analysis type	Static
Mesh type	Solid Mesh
Thermal Effect:	On
Thermal option	Include temperature loads
Zero strain temperature	298 Kelvin

Include fluid pressure effects from SolidWorks Flow Simulation	Off
Solver type	Direct sparse solver
Inplane Effect:	Off
Soft Spring:	Off
Inertial Relief:	Off
Incompatible bonding options	Automatic
Large displacement	Off
Compute free body forces	On
Friction	Off
Use Adaptive Method:	Off
Result folder	SolidWorks document (D:\CALCULO SAMUEL\10)

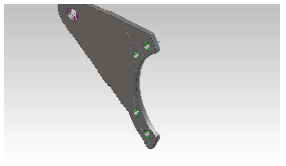
Units

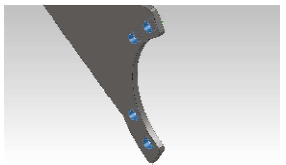
Unit system:	SI (MKS)
Length/Displacement	mm
Temperature	Kelvin
Angular velocity	Rad/sec
Pressure/Stress	N/m ²

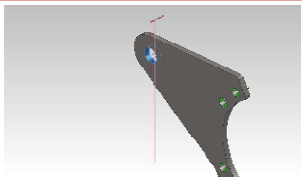
Material Properties

Model Reference	Properties	Components
	Name: 1.0037 (S235JR) Model type: Linear Elastic Isotropic Default failure criterion: Max von Mises Stress Yield strength: 2.75e+008 N/m ² Tensile strength: 3.5e+008 N/m ² Elastic modulus: 2.1e+011 N/m ² Poisson's ratio: 0.28 Mass density: 7800 kg/m ³ Shear modulus: 7.9e+010 N/m ² Thermal expansion coefficient: 1.1e-005 /Kelvin	SolidBody 1(Split Line1)(CH10.00)
Curve Data: N/A		

Loads and Fixtures

Fixture name	Fixture Image	Fixture Details		
Roller/Slider-1		Entities: 1 face(s) Type: Roller/Slider		
Resultant Forces				
Components	X	Y	Z	Resultant
Reaction force(N)	-1.12718	-493.298	-472.891	683.352
Reaction Moment(N-m)	0	0	0	0

Fixed-1		Entities: 4 face(s) Type: Fixed Geometry		
Resultant Forces				
Components	X	Y	Z	Resultant
Reaction force(N)	-0.000507355	-9000	406.922	9009.19
Reaction Moment(N-m)	0	0	0	0

Load name	Load Image	Load Details
Force-1		Entities: 1 face(s), 1 plane(s) Reference: Right Plane Type: Apply force Values: ---, 9000, --- N

Connector Definitions

No Data

Contact Information

No Data

Mesh Information

Mesh type	Solid Mesh
Mesher Used:	Curvature based mesh
Jacobian points	4 Points
Maximum element size	0 mm
Minimum element size	0 mm
Mesh Quality	High

Mesh Information - Details

Total Nodes	86056
Total Elements	54203
Maximum Aspect Ratio	3.9183
% of elements with Aspect Ratio < 3	99.9
% of elements with Aspect Ratio > 10	0
% of distorted elements(Jacobian)	0
Time to complete mesh(hh:mm:ss):	00:00:07
Computer name:	POCOPC35



Sensor Details

No Data

Resultant Forces

Reaction Forces

Selection set	Units	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultant
Entire Model	N	-0.000507355	-9000	0.000232697	9000

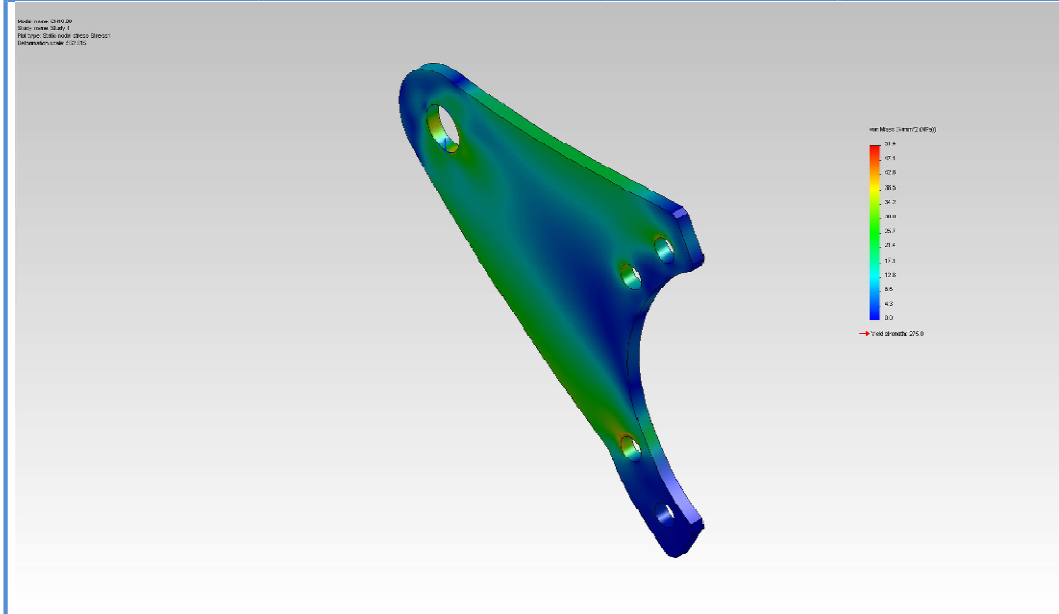
Reaction Moments

Selection set	Units	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultant
Entire Model	N-m	0	0	0	0

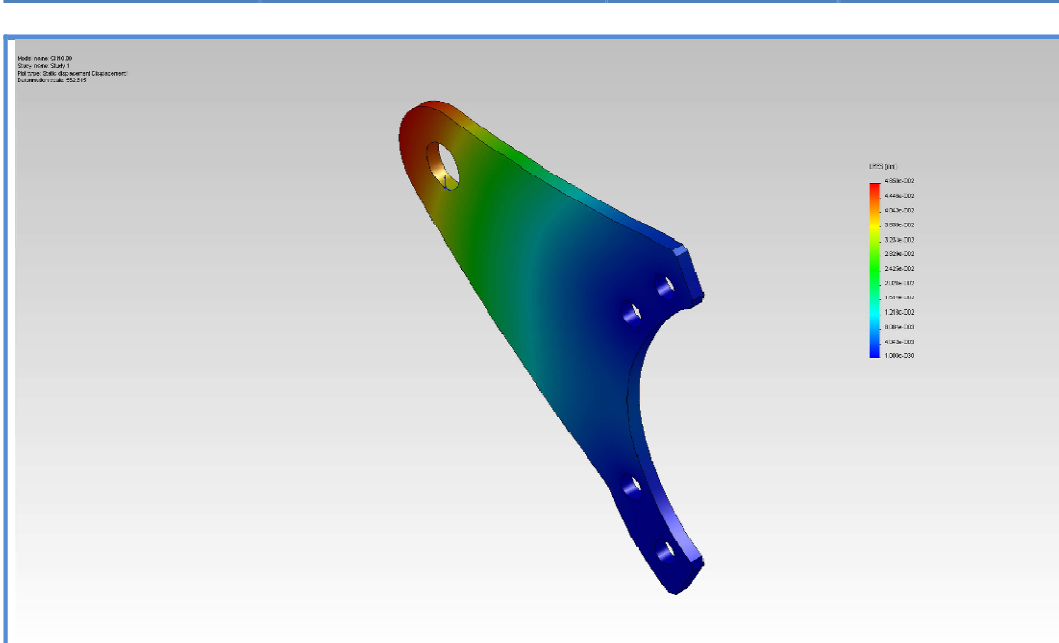
Beams
No Data

Study Results

Name	Type	Min	Max
Stress1	VON: von Mises Stress	0.0086525 N/mm ² (MPa) Node: 3249	51.3546 N/mm ² (MPa) Node: 3392

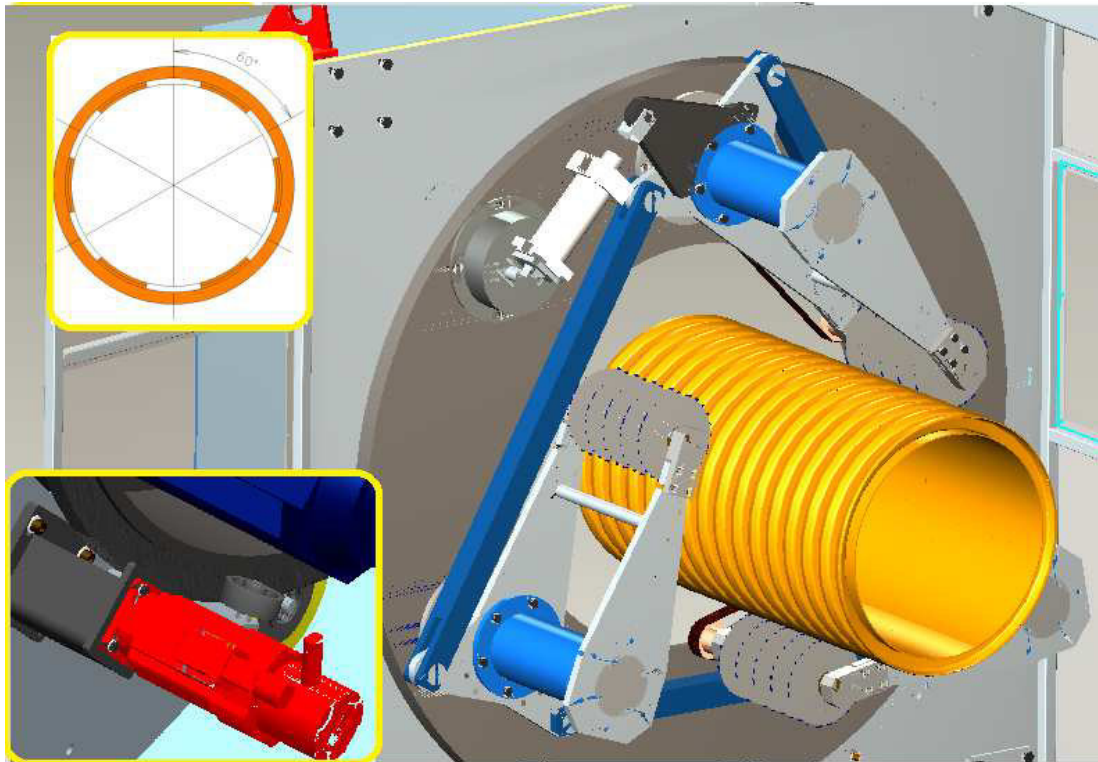


Name	Type	Min	Max
Displacement1	URES: Resultant Displacement	0 mm Node: 1	0.0485031 mm Node: 297

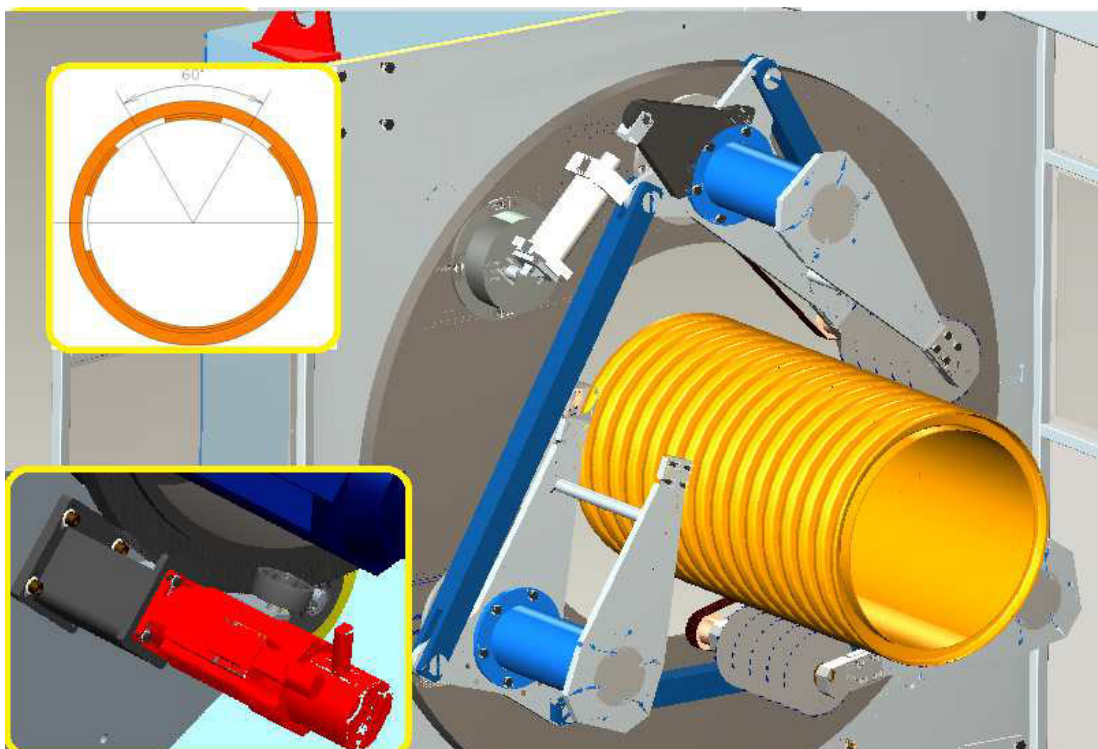


Name	Type	Min	Max
Strain1	ESTRN: Equivalent Strain	9.79075e-008 Element: 10410	0.000180981 Element: 20649

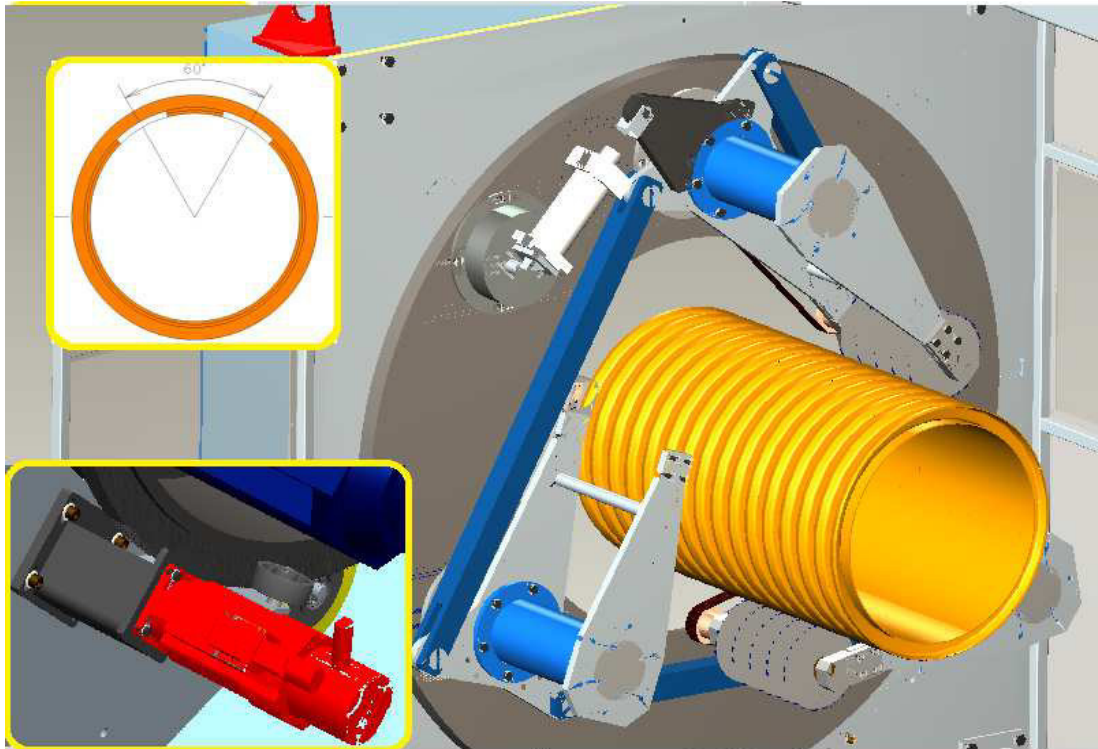
E - Configuração da serra 2, 4 e 6 rasgos



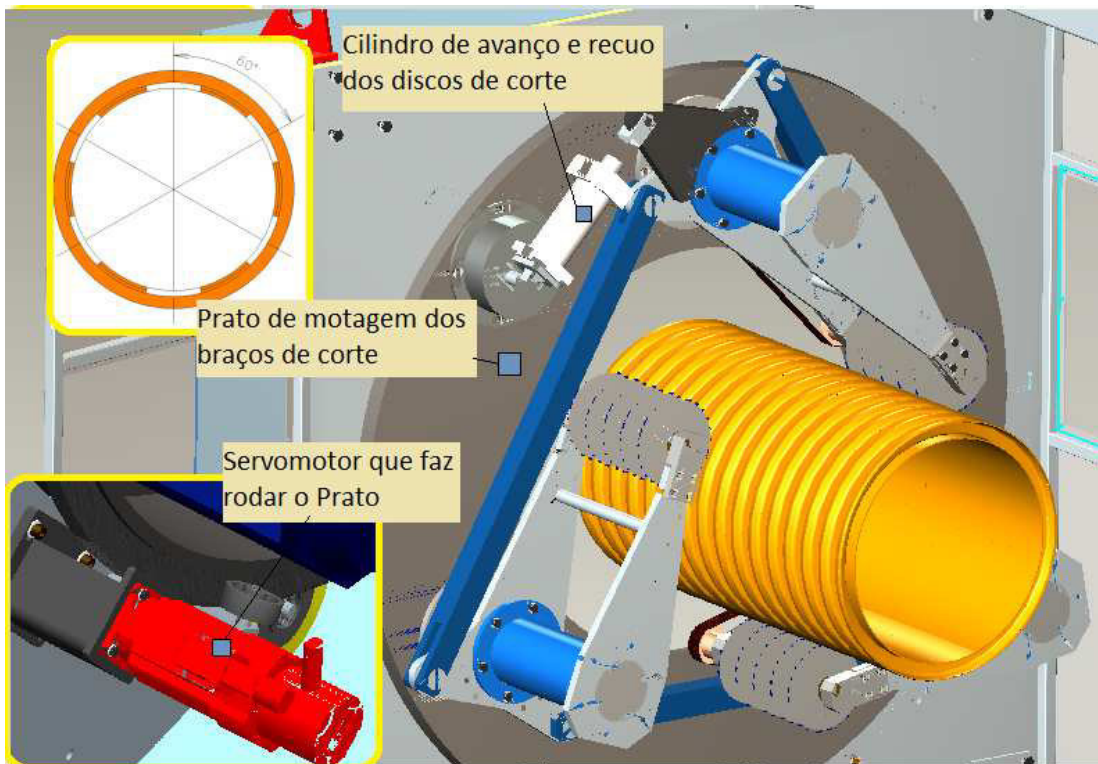
Configuração da serra para fazer 6 rasgos



Configuração da erra para fazer 4 rasgos



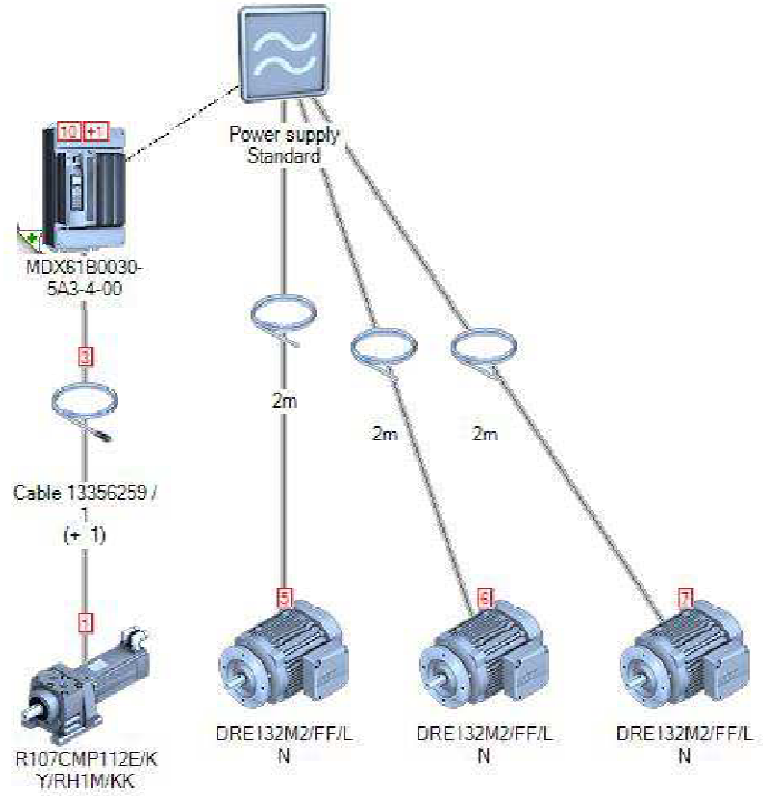
Configuração da serra para fazer 2 rasgos



Identificação de componentes

F – Relatório da seleção dos motores e servomotor

Getriebemotoren \ Industriegtriebe \ Antriebselektronik \ Antriebsautomatisierung \ Services	
SEW EURODRIVE	
Customer	
Project	Serra de Dreno
Edited by	SEW-EURODRIVE PORTUGAL Samuel Cardoso Samuel_cardoso@sapo.pt
Date File Test status	17-09-2014 12:03:07 SAMUEL.SEWPRO Unchecked
SEW Workbench	
2.14.682.2 / KAT-0505-00-002	Project report <small>hNisUITZe/U4ubQxykiSrl Gm - SKmqrl.E1zNQVPosREu/Srl</small>





Important:
The data you have provided us with serves as a basis for our evaluation or selection. The correctness and completeness of this data is assumed for the intended use of the drive. Please confirm that the data is correct, including the assumptions we have made. In particular, contact SEW if there are deviating ambient conditions.

Product list

Pos (Ref)	Quantity	Designation/part number	Net	Unit price	Total price
5	1	AC motor DRE132M2/FF/LN, P=7,5kW, ED=S1, nM=2910rpm		-	-
6	1	AC motor DRE132M2/FF/LN, P=7,5kW, ED=S1, nM=2910rpm		-	-
7	1	AC motor DRE132M2/FF/LN, P=7,5kW, ED=S1, nM=2910rpm		-	-
8	1	Resolver cable, Part no.=01994875, 2m		-	-
8.1	1	Brakemotor cable; BP brake, Part no.=13354396, 2m		-	-
9	1	Synchronous geared servomotor with helical gear unit R107CMP112E/KY/RH1M/KK, M=95Nm, nM=4500rpm i=100, nA=45		-	-
10	1	MOVIDRIVE B frequency inverter MDX61B0300-503-4-00, Part no.=08279667		-	-
10.1	1	DER11B, Part no.=08243077		-	-
10.2	1	DBG60B-01, Part no.=18204031		-	-
11	1	Encoder cable with TH/TF, Part no.=13356259, 1m		-	-

Pos: 5

AC motor

DRE132M2/FF/LN

Rated motor speed [rpm] : 2910
 Mounting position / IM : B5
 Terminal box position [°] : 0
 Cable entry/connector position : 0/X

Output shaft [] : 38X80
 Flange diameter [mm] : FF265 D300
 Perm. output overhung load when n=1400 [N] : 2750

Motor rated power [kW] : 7.5
 Cyclic duration factor : S1
 Motor voltage [V] : 230/400
 Wiring diagram : R13
 Frequency [Hz] : 50
 Maximum permitted current [A] : 98.55
 Rated current [A] : 23.5 / 13.5
 cos Phi : 0.91
 Temperature class : 155(F)
 Enclosure : IP 55
 Motor eff. class : IE2
 Efficiency (50/75/100% Pn) [%] : 90.0 / 89.8 / 88.5
 CE mark : Yes



Design requirement : IEC

Weight [kg] : 60

Additional features:

- Color: 7031 Blue Grey (20070310) -
- LN Noise-reduced fan guard -
- Enclosure IP 55 - standard motor -
- Thermal classification I 55(F) -

Pos: 6

AC motor

DRE132M2/FF/LN

Rated motor speed [rpm] : 2910

Mounting position / IM : B5

Terminal box position [°] : 0

Cable entry/connector position : 0/X

Output shaft [mm] : 38X80

Flange diameter [mm] : FF265 D300

Perm. output overhung load when n=1400 [N] : 2750

Motor rated power [kW] : 7.5

Cyclic duration factor : S1

Motor voltage [V] : 230/400

Wiring diagram : R13

Frequency [Hz] : 50

Maximum permitted current [A] : 98,55

Rated current [A] : 23,5 / 13,5

cos Phi : 0,91

Temperature class : 155(F)

Enclosure : IP 55

Motor eff. class : IE2

Efficiency (50/75/100% Pn) [%] : 90,0 / 89,8 / 88,5

CE mark : Yes

Design requirement : IEC

Weight [kg] : 60

Additional features:

- Color: 7031 Blue Grey (20070310) -
- LN Noise-reduced fan guard -
- Enclosure IP 55 - standard motor -
- Thermal classification I 55(F) -

Pos: 7

AC motor

DRE132M2/FF/LN

Rated motor speed [rpm] : 2910

Mounting position / IM : B5

Terminal box position [°] : 0

Cable entry/connector position : 0/X

Output shaft [mm] : 38X80

Flange diameter [mm] : FF265 D300

Perm. output overhung load when n=1400 [N] : 2750

Motor rated power [kW] : 7.5

Cyclic duration factor : S1

Motor voltage [V] : 230/400

Wiring diagram : R13



Frequency	[Hz] : 50
Maximum permitted current	[A] : 98,55
Rated current	[A] : 23,5 / 13,5
cos Phi	: 0,91
Temperature class	: 155(F)
Enclosure	: IP 55
Motor eff. class	: IE2
Efficiency (50/75/100% Pn)	[%] : 90,0 / 89,8 / 88,5
CE mark	: Yes
Design requirement	: IEC
Weight	[kg] : 60

Additional features:

- Color: 7031 Blue Grey (20070310)
- LN Noise-reduced fan guard
- Enclosure IP 55 - standard motor
- Thermal classification 155(F)

Pos: 8

Cable 01994875 / 2

Total cable part number	: 01994875
Length	[m] : 2
Product group	: Servo technology CMP
Product range	: Resolver cable
Designation	: Resolver cable w. 2 connectors
Core description	: (5x2x0,25)mm ²
Installation type	: fixed installation
Prefabrication A end	: D-SUB co. 9-pole; pin cont.ang
Prefabrication B end	: Round con.12-p. sock.cont ASTA

Pos: 8.1

Cable 13354396 / 2

Total cable part number	: 13354396
Length	[m] : 2
Product group	: Servo technology CMP
Product range	: Brakemotor cable; BP brake
Designation	: Br.mot.cable w.1 conn. SB12
Core description	: 4x2,5+3x1mm ²
Installation type	: cable carrier
Prefabrication A end	: Cores exp., lxcut, acc.pouch
Prefabrication B end	: SB12 connector, socket contact

Pos: 9

Synchronous geared servomotor with helical gear unit

R107CMP112E/KY/RHIM/KK

Rated motor speed	[rpm] : 4500
Actual motor speed	[rpm] : 4500
Rated output speed	[rpm] : 45
Total gear ratio	: 100
Rated output torque	[Nm] : 4300
Service factor (rated operation)	: 0,95
Mounting position / IM	: M1
Terminal box position	[°] : 270
Cable entry/connector position	: 270
Output shaft	[] : 70X140
Perm. output overhung load when n=1400	[N] : 14600
Continuous static torque (Mo)	[Nm] : 95
Cyclic duration factor	: S1
Motor voltage	[V] : 400
Wiring diagram	: DT11



Maximum permitted current [A] : 385
Continuous static current (I_o) [A] : 98
Temperature class : F

Brake voltage [V] : 235
Braking torque [Nm] : 4500
Brake control system : 4500
Weight [kg] : 94

Additional features:

- Color: 9005 Jet black (511F9505)
- IEC34-1
- BK permanent magnet brake
- SB1- adjustable right-angle connector (brakemotor) - M23 (1.5 - 4 mm²)
- KTY- Temperature sensor
- RH1M- resolver

Pos: 10

MOVIDRIVE B frequency inverter

MDX61B0300-503-4-00

Inverter part number : 08279667
Size : 3
Rated power [kW] : 30
Voltage [V] : 3X380-500
Nominal input current [A] : 54
Rated output current [A] : 60
PWM frequency [kHz] : 4
Operating Mode : SERVO

Pos: 10.1

DER11B

Part number : 08243077

Pos: 10.2

DBG60B-01

Part number : 18204031

Pos: 11

Cable 13356259 / 1

Total cable part number : 13356259
Length [m] : 1
Product group : Servo technology CMP
Product range : Encoder cable with TH/TF
Designation : Resolver cable with 1connector
Core description : (5x2x0.25)mm²
Installation type : fixed installation
Prefabrication A end : D-SUB co. 9-pole; pin cont,ang
Prefabrication B end : Open.5x2x0.25. cond.end sleeve

G - Dimensionamento da correia



Poly V Design

Service factor

Duty cycle category	[0h - 10h]
Motor class	A
Driven class	1

Layout

Receiving pulley	grooved
Driver diameter	150 mm
Driven diameter	84 mm
Center distance	545 mm

Diamètres standards

Lower	Upper
150	150
80	85

Nominal Speed

Nominal power	7.5 kW
Driver speed	2800 tr/mn
Driven speed	5000 tr/mn
Transmission Ratio	1.785715

Poly V designation

4 PK 1460 width 14.24 mm mm

Diameters

	External	Effective	
Motor	150	150	mm
Receptor	84	84	mm

Center distance

before installation	529.22	mm
Calculated	545.22	mm

Dynamic

Motor torque	25.58	N.m
Linear speed	22.36	m/s
Transmission Ratio	1.76	

Belt tension

Tension	432.8	N/brin
Frequency	73.1	Hz
Slipping limit	346.2	N/brin

Static reaction on shafts

Motor	863.94	N/axe
Receptor	863.94	N/axe

Fonte (Hutchinson 2014)

medias[®]

SCHAEFFLER



Bearing analysis

Calculation / Installation proposal

Date: 2015-03-25 01:02:13

Attention

Please see list of warnings at the end of print out.

All rights are reserved with regard to this document, even in the event that a patent should be granted or a utility model registered. The document must be treated confidentially. Without our written consent, neither the document itself, nor copies thereof or any other renderings of the complete contents or of extracts therefrom may be made available to third parties or put to improper use by the recipient in any other way. The document has been prepared on the basis of your requirements as set forth above and our own assumptions. Our details take into account those risks which were apparent to us on the basis of your requirements as made available to us. The document has been prepared solely in connection with the purchase of our products. The results shown in the document have been worked out carefully and in accordance with the state of the art, but do not constitute an express or implied guaranty as to quality or durability in the legal sense. You are not dispensed thereby from checking the suitability of the products. We shall be liable for the details provided in the document only in the event of willful intent or negligence. If the document is part of a supply agreement, the liability provisions agreed there shall apply.

Table of contents

- 1 Input
- 2 Results
- 3 Warnings

1 Input

Bearing:

Designation	6004-2RSR	
Inside diameter	d	20.000 mm
Outside diameter	D	42.000 mm
Width	B	12.000 mm
Basic dynamic load rating	C	10000 N
Basic static load rating	C0	5000 N
Fatigue limit load	Cu	255 N
Limiting speed	n_lim	12000.0 1/min
Limiting speed, grease	n_lim_g	12000.0 1/min

Basic frequencies:

Overrolling frequency on inner ring	BPFI	5.4218 1/s
Overrolling frequency on outer ring	BPFO	3.5782 1/s
Overrolling frequency on rolling element	BSF	2.3385 1/s
Ring pass frequency on rolling element	RPFB	4.6771 1/s
Speed of rolling element set for rotating inner ring	FTF_i	0.3976 1/s

Speed of rolling element set for rotating outer ring	FTF_o	0.6024 1/s
--	-------	------------

Lubrication data:

Permitted lubricants	Only grease	
Type of lubrication	grease	
Type of grease	GA01	
Viscosity at 40°C	ny 40	102.0 mm ² /s
Viscosity at 100°C	ny 100	12.9 mm ² /s
Contamination	normal cleanliness	
External heat flow	dQ/dt	0.0 kW

Other conditions:

Ambient temperature	t	30 °C
Environmental influence	average	
Requisite reliability	99 %	
Condition of rotation	rotating inner ring	
Clearance group	CN	

Load Serra de Dreno:

Time portion	q	30.000 %
Speed	n_i	5000.00 1/min
Type of movement	rotating	
Radial load	Fr	0.0 N
Axial load	Fa	275.0 N
Mean operating temperature	T	40 °C

2 Results

Overrolling frequencies Serra de Dreno:

Overrolling frequency on outer ring	BPFO	298.1855 1/s
Overrolling frequency on inner ring	BPFI	451.8145 1/s
Overrolling frequency on rolling element	BSF	194.8771 1/s
Ring pass frequency on rolling element	RPFB	389.7543 1/s
Speed of rolling element set	FTF	33.1317 1/s

Load factors and equivalent loads Serra de Dreno:

Equivalent static load	P0	137.50 N
Equivalent dynamic load	P_i	454.99 N

Lubrication Serra de Dreno:

Operating viscosity	ny	102.0 mm ² /s
Reference viscosity	ny1	11.4 mm ² /s
Viscosity ratio	kappa	8.92
Life adjustment factor	a_ISO	50.00

Bearing behavior 6004-2RSR:

Static load safety factor	S0_min	36.364
Total rating life in hours (nominal)	Lh10	29489 h
Modified rating life in hours	Lh_nm	> 1000000 h

Maximum equivalent static load	P0_max	137.50 N
Equivalent speed	n	1500.0 1/min
Equivalent dynamic load	P	454.99 N
Lower guide value for relubrication interval	tfR_min	31600 h
Upper guide value for relubrication interval	tfR_max	48600 h

3 Warnings

The total of the load case time portions is less than 100%. The missing time portion is assumed to be a stationary period.

- Sum of time proportions = 30.000 %

Viscosity ratios $\kappa > 4$ do not give a further increase in the lubricant film thickness. As a result, a higher viscosity ratio does not give an increase in the life adjustment factor aDIN.

- Serra de Dreno

Relubrication should be carried out once a year.

www.ina.com

www.fag.de

2015-03-25 01:02:13 (9.0)

Fonte (Schaeffler 2014)

I - MTM da nova serra de dreno

	Operação/Etapa	TMU		Conversão			
		uni	Total	Segundos	Minutos	Horas	
	Aproximar da serra	Movimento do corpo, pernas e pés	15	1200	43,20	0,72	0,01
	Visualizar a serra	Movimentação dos olhos e focalização	20	32	1,15	0,02	0,00
	Visualizar a porta	Movimentação dos olhos e focalização	20	32	1,15	0,02	0,00
	Abrir a porta da serra	Alcançar	17,5	28	1,01	0,02	0,00
1º Braço	Visualizar ponto de trabalho (4x)	Movimentação dos olhos e focalização	20	128	4,61	0,08	0,00
	Inclinar para posição trabalho (4x)	Movimento do corpo, pernas e pés	29	185,6	6,68	0,11	0,00
	Visualizar da chave de roquete (4x)	Movimentação dos olhos e focalização	20	128	4,61	0,08	0,00
	Pegar na chave roquete (4x)	Alcançar	25,8	165,12	5,94	0,10	0,00
	Visualizar da chave de roquete (4x)	Movimentação dos olhos e focalização	20	128	4,61	0,08	0,00
	Pegar na chave roquete (4x)	Agarrar	5,6	35,84	1,29	0,02	0,00
	Visualizar da chave de roquete (4x)	Movimentação dos olhos e focalização	20	128	4,61	0,08	0,00
	Pegar na chave roquete (4x)	Movimentar	22,1	141,44	5,09	0,08	0,00
	Visualizar os parafusos (4x)	Movimentação dos olhos e focalização	20	128	4,61	0,08	0,00
	Desaparafusar 4 parafusos M10 (4x)	Girar e aplicar pressão	144	921,6	33,18	0,55	0,01
	Visualizar local pousar chave (4x)	Movimentação dos olhos e focalização	20	128	4,61	0,08	0,00
	Pegar na chave roquete (4x)	Soltar	2	12,8	0,46	0,01	0,00
	Visualizar parafusos (4x)	Movimentação dos olhos e focalização	20	128	4,61	0,08	0,00
	Guardar parafusos (4x)	Alcançar	13,1	83,84	3,02	0,05	0,00
	Guardar parafusos (4x)	Agarrar	5,6	35,84	1,29	0,02	0,00
	Guardar parafusos (4x)	Movimentar	19,2	122,88	4,42	0,07	0,00
	Guardar parafusos (4x)	Soltar	2	12,8	0,46	0,01	0,00
	Visualizar veio	Movimentação dos olhos e focalização	20	32	1,15	0,02	0,00
	Retirar veio lâminas	Alcançar	22,9	36,64	1,32	0,02	0,00
	Retirar veio lâminas	Agarrar	5,6	8,96	0,32	0,01	0,00
	Retirar veio lâminas	Desmontar	34,7	55,52	2,00	0,03	0,00
	Retirar veio lâminas	Movimentar	10	16	0,58	0,01	0,00
	Levantar da posição de trabalho (4x)	Movimento do corpo, pernas e pés	43,4	277,76	10,00	0,17	0,00
	Visualizar mesa de apoio	Movimentação dos olhos e focalização	20	32	1,15	0,02	0,00
	Levar veio mesa apoio	Movimento do corpo, pernas e pés	15	480	17,28	0,29	0,00
	Levar veio mesa apoio	Movimentar	30,7	49,12	1,77	0,03	0,00
	Visualizar mesa de apoio	Movimentação dos olhos e focalização	20	32	1,15	0,02	0,00
	Pousar veio	Movimentar	19,2	30,72	1,11	0,02	0,00
	Pousar veio	Soltar	2	3,2	0,12	0,00	0,00
	Visualizar veio substituição	Movimentação dos olhos e focalização	20	32	1,15	0,02	0,00
	Pegar veio substituição	Alcançar	13,1	20,96	0,75	0,01	0,00
	Pegar veio substituição	Agarrar	2	3,2	0,12	0,00	0,00
	Pegar veio substituição	Movimentar	19,2	30,72	1,11	0,02	0,00
	Visualizar serra	Movimentação dos olhos e focalização	20	32	1,15	0,02	0,00
	Levar veio para serra	Movimento do corpo, pernas e pés	15	480	17,28	0,29	0,00
	Levar veio para serra	Movimentar	30,7	49,12	1,77	0,03	0,00
	Inclinar para posição trabalho	Movimento do corpo, pernas e pés	29	46,4	1,67	0,03	0,00
	Visualizar local de encaixe	Movimentação dos olhos e focalização	20	32	1,15	0,02	0,00
	Encaixar veio	Alcançar	22,9	36,64	1,32	0,02	0,00
	Encaixar veio	Movimentar	19,2	30,72	1,11	0,02	0,00
	Encaixar veio	Posicionar	53,4	85,44	3,08	0,05	0,00
	Encaixar veio	Soltar	2	3,2	0,12	0,00	0,00
Visualizar ponto de trabalho (4x)	Movimentação dos olhos e focalização	20	128	4,61	0,08	0,00	
Inclinar para posição trabalho (4x)	Movimento do corpo, pernas e pés	29	185,6	6,68	0,11	0,00	
Visualizar da chave de roquete (4x)	Movimentação dos olhos e focalização	20	128	4,61	0,08	0,00	
Visualizar os parafusos (4x)	Movimentação dos olhos e focalização	20	128	4,61	0,08	0,00	
Pegar parafusos (4x)	Agarrar	2	12,8	0,46	0,01	0,00	
Pegar parafusos (4x)	Movimentar	19,2	122,88	4,42	0,07	0,00	
Visualizar local parafusos (4x)	Movimentação dos olhos e focalização	20	128	4,61	0,08	0,00	
Colocar parafusos (4x)	Movimentar	19,2	122,88	4,42	0,07	0,00	
Colocar parafusos (4x)	Posicionar	5,6	35,84	1,29	0,02	0,00	
Visualizar da chave de roquete (4x)	Movimentação dos olhos e focalização	20	128	4,61	0,08	0,00	
Pegar na chave roquete (4x)	Alcançar	25,8	165,12	5,94	0,10	0,00	
Visualizar os parafusos (4x)	Movimentação dos olhos e focalização	20	128	4,61	0,08	0,00	
Pegar na chave roquete (4x)	Agarrar	5,6	35,84	1,29	0,02	0,00	
Visualizar os parafusos (4x)	Movimentação dos olhos e focalização	20	128	4,61	0,08	0,00	
Pegar na chave roquete (4x)	Movimentar	22,1	141,44	5,09	0,08	0,00	

Continuação							
	Visualizar os parafusos (4x)	Movimentação dos olhos e focalização	20	128	4,61	0,08	0,00
	Apertar parafusos (4x)	Girar e aplicar pressão	144	921,6	33,18	0,55	0,01
	Levantar da posição de trabalho (4x)	Movimento do corpo, pernas e pés	43,4	277,76	10,00	0,17	0,00
2º Braço	Visualizar ponto de trabalho (4x)	Movimentação dos olhos e focalização	20	128	4,61	0,08	0,00
	Inclinar para posição trabalho (4x)	Movimento do corpo, pernas e pés	29	185,6	6,68	0,11	0,00
	Visualizar da chave de roquete (4x)	Movimentação dos olhos e focalização	20	128	4,61	0,08	0,00
	Pegar na chave roquete (4x)	Alcançar	25,8	165,12	5,94	0,10	0,00
	Visualizar da chave de roquete (4x)	Movimentação dos olhos e focalização	20	128	4,61	0,08	0,00
	Pegar na chave roquete (4x)	Agarrar	5,6	35,84	1,29	0,02	0,00
	Visualizar da chave de roquete (4x)	Movimentação dos olhos e focalização	20	128	4,61	0,08	0,00
	Pegar na chave roquete (4x)	Movimentar	22,1	141,44	5,09	0,08	0,00
	Visualizar os parafusos (4x)	Movimentação dos olhos e focalização	20	128	4,61	0,08	0,00
	Desaparafusar 4 parafusos M10 (4x)	Girar e aplicar pressão	144	921,6	33,18	0,55	0,01
	Visualizar local pousar chave (4x)	Movimentação dos olhos e focalização	20	128	4,61	0,08	0,00
	Pegar na chave roquete (4x)	Soltar	2	12,8	0,46	0,01	0,00
	Visualizar parafusos (4x)	Movimentação dos olhos e focalização	20	128	4,61	0,08	0,00
	Guardar parafusos (4x)	Alcançar	13,1	83,84	3,02	0,05	0,00
	Guardar parafusos (4x)	Agarrar	5,6	35,84	1,29	0,02	0,00
	Guardar parafusos (4x)	Movimentar	19,2	122,88	4,42	0,07	0,00
	Guardar parafusos (4x)	Soltar	2	12,8	0,46	0,01	0,00
	Visualizar veio	Movimentação dos olhos e focalização	20	32	1,15	0,02	0,00
	Retirar veio lâminas	Alcançar	22,9	36,64	1,32	0,02	0,00
	Retirar veio lâminas	Agarrar	5,6	8,96	0,32	0,01	0,00
	Retirar veio lâminas	Desmontar	34,7	55,52	2,00	0,03	0,00
	Retirar veio lâminas	Movimentar	10	16	0,58	0,01	0,00
	Levantar da posição de trabalho (4x)	Movimento do corpo, pernas e pés	43,4	277,76	10,00	0,17	0,00
	Visualizar mesa de apoio	Movimentação dos olhos e focalização	20	32	1,15	0,02	0,00
	Levar veio mesa apoio	Movimento do corpo, pernas e pés	15	480	17,28	0,29	0,00
	Levar veio mesa apoio	Movimentar	30,7	49,12	1,77	0,03	0,00
	Visualizar mesa de apoio	Movimentação dos olhos e focalização	20	32	1,15	0,02	0,00
	Pousar veio	Movimentar	19,2	30,72	1,11	0,02	0,00
	Pousar veio	Soltar	2	3,2	0,12	0,00	0,00
	Visualizar veio substituição	Movimentação dos olhos e focalização	20	32	1,15	0,02	0,00
	Pegar veio substituição	Alcançar	13,1	20,96	0,75	0,01	0,00
	Pegar veio substituição	Agarrar	2	3,2	0,12	0,00	0,00
	Pegar veio substituição	Movimentar	19,2	30,72	1,11	0,02	0,00
	Visualizar serra	Movimentação dos olhos e focalização	20	32	1,15	0,02	0,00
	Levar veio para serra	Movimento do corpo, pernas e pés	15	480	17,28	0,29	0,00
	Levar veio para serra	Movimentar	30,7	49,12	1,77	0,03	0,00
	Inclinar para posição trabalho	Movimento do corpo, pernas e pés	29	46,4	1,67	0,03	0,00
	Visualizar local de encaixe	Movimentação dos olhos e focalização	20	32	1,15	0,02	0,00
	Encaixar veio	Alcançar	22,9	36,64	1,32	0,02	0,00
	Encaixar veio	Movimentar	19,2	30,72	1,11	0,02	0,00
	Encaixar veio	Posicionar	53,4	85,44	3,08	0,05	0,00
	Encaixar veio	Soltar	2	3,2	0,12	0,00	0,00
Visualizar ponto de trabalho (4x)	Movimentação dos olhos e focalização	20	128	4,61	0,08	0,00	
Inclinar para posição trabalho (4x)	Movimento do corpo, pernas e pés	29	185,6	6,68	0,11	0,00	
Visualizar da chave de roquete (4x)	Movimentação dos olhos e focalização	20	128	4,61	0,08	0,00	
Visualizar os parafusos (4x)	Movimentação dos olhos e focalização	20	128	4,61	0,08	0,00	
Pegar parafusos (4x)	Agarrar	2	12,8	0,46	0,01	0,00	
Pegar parafusos (4x)	Movimentar	19,2	122,88	4,42	0,07	0,00	
Visualizar local parafusos (4x)	Movimentação dos olhos e focalização	20	128	4,61	0,08	0,00	
Colocar parafusos (4x)	Movimentar	19,2	122,88	4,42	0,07	0,00	
Colocar parafusos (4x)	Posicionar	5,6	35,84	1,29	0,02	0,00	
Visualizar da chave de roquete (4x)	Movimentação dos olhos e focalização	20	128	4,61	0,08	0,00	
Pegar na chave roquete (4x)	Alcançar	25,8	165,12	5,94	0,10	0,00	
Visualizar os parafusos (4x)	Movimentação dos olhos e focalização	20	128	4,61	0,08	0,00	
Pegar na chave roquete (4x)	Agarrar	5,6	35,84	1,29	0,02	0,00	
Visualizar os parafusos (4x)	Movimentação dos olhos e focalização	20	128	4,61	0,08	0,00	
Pegar na chave roquete (4x)	Movimentar	22,1	141,44	5,09	0,08	0,00	
Visualizar os parafusos (4x)	Movimentação dos olhos e focalização	20	128	4,61	0,08	0,00	
Apertar parafusos (4x)	Girar e aplicar pressão	144	921,6	33,18	0,55	0,01	
Levantar da posição de trabalho (4x)	Movimento do corpo, pernas e pés	43,4	277,76	10,00	0,17	0,00	

J - Análise de riscos da Serra de dreno (antiga)

Equipamento N.º 1				Equipamento Serra de Dreno					
	N - Normal			1 -Esporádica (EE)	1 - Aceitável (A)	1 - Baixa (B)	10 - Leve (L)	1 - Situação crítica. Requer correção urgente. 2 - Corrigir e adotar medidas de controlo. 3 - Melhorar se possível. Seria conveniente justificar a intervenção e sua rentabilidade. 4 - Não intervir, salvo se uma análise mais precisa o justifique.	
	A - Anormal			2 - Ocasional (EO)	2 - Melhorável (M)	2 - Média (M)	25 - Grave (G)		
	E -Emergência			3 - Frequente (EF)	6 - Deficiente (D)	3 - Alta (A)	60 - Muito Grave (MG)		
				4 - Continuada (EC)	10 - Muito Deficiente (MD)	4 - Muito Alta (MA)	100 - Mortal /catastrófico (M)		
Perigo	Condições de operação	Riscos	Consequências	Nível de Exposição (NE)	Nível de deficiência (ND)	Nível de probabilidade e (NP= NExND)	Nível de consequência (NC)	Magnitude do Risco (R=NPxNC)	Propostas/Recomendações
Contacto com motor	N- Normal	Contactos térmicos	Queimaduras graves	EF	M	6	L	60	
Posturas inadequadas, movimentos repetitivos	N - Normal	Posturas ergonómicas incorretas	Lesões músculo-esqueléticas	EF	M	6	L	60	
Máquinas ruidosas	N- Normal	Exposição ao Ruído	Surdez	EF	D	18	MG	1080	
Falta de manutenção	N - Normal	Rutura de peças com projeção	Lesões múltiplas	E0	A	2	G	50	
Contatos com elementos móveis	N - Normal	Entalamento em objetos	Lesões múltiplas	EF	D	3	G	75	
Não cumprimento das regras de segurança	N - Normal	Funcionamento anormal do equipamento	Lesões múltiplas	EE	M	2	G	50	
Projeção de partículas resultantes do trabalho das máquinas	N - Normal	Projeção de fragmentos	Lesões múltiplas e lesões oculares	E0	A	2	G	50	
A máquina deverá possuir dispositivo de parada de emergência (Opcional)	N - Normal	Projeção de fragmentos	Lesões múltiplas	E0	D	12	G	300	
Contato com discos de corte	N- Normal	Cortes	Lesões múltiplas	EF	D	18	G	450	
Movimento de peças pesadas	N - Normal	Quedas	Lesões múltiplas	EF	D	18	G	450	

K - Análise de riscos da Serra de dreno (nova solução)

Equipamento N.º 1				Equipamento Serra de Dreno					
	N - Normal			1 -Esporádica (EE)	1 - Aceitável (A)	1 - Baixa (B)	10 - Leve (L)	1 - Situação crítica. Requer correção urgente.	
	A - Anormal			2 - Ocasional (EO)	2 - Melhorável (M)	2 - Média (M)	25 - Grave (G)	2 - Corrigir e adotar medidas de controlo.	
	E -Emergência			3 - Frequente (EF)	6 - Deficiente (D)	3 - Alta (A)	60 - Muito Grave (MG)	3 - Melhorar se possível. Seria conveniente justificar a intervenção e sua rentabilidade.	
				4 - Continuada (EC)	10 - Muito Deficiente (MD)	4 - Muito Alta (MA)	100 - Mortal /catastrófico (M)	4 - Não intervir, salvo se uma análise mais precisa o justifique.	
Perigo	Condições de operação	Riscos	Consequências	Nível de Exposição (NE)	Nível de deficiência (ND)	Nível de probabilidade (NP= NExND)	Nível de consequência (NC)	Magnitude do Risco (R=NPxNC)	Propostas/Recomendações
Contacto com motor	N- Normal	Contactos térmicos	Queimaduras graves	EE	A	1	L	10	Utilizar luvas
Posturas inadequadas, movimentos repetitivos	N - Normal	Posturas ergonómicas incorretas	Lesões músculo-esqueléticas	EE	A	1	L	10	Repensar projeto no sentido de a máquina incluir ajustes de posicionamento
Máquinas ruidosas	N- Normal	Exposição ao Ruído	Surdez	E0	M	4	G	100	Acrescentar no manual e no equipamento a obrigatoriedade de utilizar EPI (auriculares)
Falta de manutenção	N - Normal	Rutura de peças com projeção	Lesões múltiplas	E0	A	2	G	50	Reforçar esta informação aos operadores
Contatos com elementos móveis	N - Normal	Entalamento em objetos	Lesões múltiplas	EF	A	1	L	10	Se possível reforçar proteção de elementos móveis (correia) e redefinir as distâncias entre grelhas
Não cumprimento das regras de segurança	N - Normal	Funcionament o anormal do equipamento	Lesões múltiplas	EE	M	2	G	50	Obrigatoriedade de cumprir com regras: Reforçar esta informação aos operadores
Projeção de partículas resultantes do trabalho das máquinas	N - Normal	Projeção de fragmentos	Lesões múltiplas e lesões oculares	E0	A	2	G	50	
A máquina deverá possuir dispositivo de parada de emergência (Opcional)	N - Normal	Projeção de fragmentos	Lesões múltiplas	E0	A	2	G	50	
Contato com discos de corte	N- Normal	Cortes	Lesões múltiplas	EF	A	1	L	10	Utilizar luvas
Movimento de pesas pesadas	N - Normal	Quedas	Lesões múltiplas	EE	A	1	G	25	

Esta página foi intencionalmente deixada em branco