

# **Levantamento, análise e criação de interfaces mecânicas para definição de *standards* de processos de produção**

*Leonor Cardoso Evaristo de Carvalho Homem*

**Dissertação de Mestrado**

Orientador na FEUP: Prof. António Monteiro Baptista

Orientador na empresa: Eng. Tiago Faro



**Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica**

Julho 2015

Levantamento, análise e criação de interfaces mecânicas para definição de *standards* de processos de produção

*Aos meus pais e irmã*

## Resumo

Um dos grandes problemas com que as empresas deparam nos últimos anos é a tentativa de conciliação entre a variedade do produto, a flexibilidade de produção e a inovação, como consequência da crescente competitividade do mercado. A necessidade de acompanhar a evolução dinâmica dos meios tecnológicos e organizacionais existentes levou à procura de soluções para garantir economias de escala e de gama.

A modularização, a standardização e a normalização são as soluções mais utilizadas para lidar com este obstáculo, tendo como objetivo a otimização do produto no que diz respeito à variedade e complexidade da produção. A modularização passa pela organização de produtos através da sua decomposição em módulos interligados por interfaces standardizadas. A normalização otimiza a relação funcional e define restrições entre os conjuntos e os subconjuntos de modo a que estes não estejam sujeitos a variações, abrangendo a maior gama possível.

Esta dissertação surgiu a propósito do interesse da empresa Adira, S.A. em introduzir melhoramentos na conceção das máquinas produzidas, de forma a minimizar dificuldades e incoerências. Tornava-se necessário implementar uma maior normalização nos processos de conceção e desenvolvimento e de fabrico das máquinas, reduzindo o uso ineficiente de mão-de-obra com custos elevados.

O projeto em causa propõe como solução a criação de normas internas de interfaces standardizadas através da análise e identificação dos componentes fabricados internamente e das restrições a que estão sujeitos. Para além disso, também é desenvolvido um método para a parametrização de ferramentas de trabalho, utilizando o sistema CAD.

A solução proposta visa, então, assegurar a harmonização do desenvolvimento do processo de produção das máquinas da empresa, aumentando a flexibilidade e diminuindo a sua complexidade. Deste modo, é possível manter uma grande oferta de variedade e inovação com custos reduzidos e com uma rápida capacidade de resposta à procura existente.

## **A survey, analysis and creation of mechanical interfaces for the definition of standards in production processes**

### **Abstract**

One of the major problems faced by companies in recent years is the attempt to integrate product variety, flexibility in production, and innovation, so as to respond to growing levels of competition in the market. The need to rise to the challenge posed by the dynamic evolution of available technological and organisational means has led to a search for solutions that ensure adequate economies of scale and scope.

Modularisation and standardisation are the strategies most commonly deployed to deal with this issue, with a view to optimising the product as regards variety and complexity in production. Modularisation entails organising products by decomposing them into modules that are interconnected through standardised interfaces. Standardisation optimises the functional relation, and establishes restrictions among assemblies and sub-assemblies, so that these are not subject to variation, covering the broadest possible range.

This dissertation responds to the interest of Adira, S.A in improving the design of their machines, reflecting their perception of certain difficulties and inconsistencies. There was a need for standardisation in the processes involved in the design, development and manufacturing of machines, which might reduce labour inefficiency with significant costs.

This project proposes a solution based on the creation of internal norms for standardised interfaces through the analysis and identification of on-site-produced components and the restrictions that apply in such cases. Additionally, it develops a method of parametrisation of work tools that resorts to the CAD system.

The proposed solution aims at ensuring a harmonised development of the manufacturing processes of the company's machines, enhancing their flexibility and reducing their levels of complexity. It is thus possible to maintain a significant supply, as regards variety and innovation, at relatively low costs, combined with the capacity to respond rapidly to current demand.

## **Agradecimentos**

Gostaria de agradecer à empresa Adira, S.A. pela oportunidade proporcionada e a todas as pessoas da empresa que me ajudaram no desenvolvimento deste projeto, em particular aos operários da secção de montagem pela disponibilidade, ajuda e simpatia.

Agradeço ao Prof. António Monteiro Baptista, meu orientador, pelo apoio concedido e ao Eng. Tiago Faro, meu co-orientador, pelas ideias e orientação prestadas ao longo do estágio.

Por fim, e não menos importante, quero agradecer à minha família por toda a paciência e apoio incondicional ao longo destes anos e aos meus amigos pelos bons momentos passados e ideias partilhadas, fundamentais para o processo de crescimento e de aprendizagem.

## Índice

1. Introdução .....	1
1.1. Enquadramento do projeto e motivação .....	1
1.2. Apresentação da empresa .....	1
1.3. O Projeto .....	2
1.4. Metodologia/Trabalho Desenvolvido .....	2
1.5. Organização e Temas Abordados no Presente Relatório .....	3
2. Revisão Bibliográfica .....	4
2.1. Produção Lean .....	4
2.2. Arquitetura do Produto .....	7
2.2.1. Planeamento da plataforma (Platform Planning) .....	8
2.3. Modularização .....	9
2.3.1. Standards .....	10
2.3.2. Interfaces .....	11
2.3.3. Módulos .....	12
2.3.4. Tipos de modularidade .....	12
2.3.5. Características comuns .....	13
2.4. Arquitetura Modular do Produto .....	15
2.4.1. Objetivos .....	15
2.4.2. Processo de desenvolvimento .....	16
2.5. Normalização .....	17
3. Estudo das quinadoras .....	19
3.1. Estruturas .....	20
3.2. Processo de standardização na Adira .....	23
3.3. Estudo do processo de fabrico .....	26
3.3.1. Cursos de maquinaria .....	27
3.3.2. Fixação da estrutura .....	27
3.3.3. Tempos de furação .....	28
3.4. Estudo do processo de conceção e desenvolvimento .....	29
3.4.1. Disparidades entre modelos .....	29
3.4.2. Incoerências das interfaces .....	33
3.4.3. Interfaces em falta .....	34
4. Proposta de solução .....	38
4.1. Criação de interfaces .....	38
4.1.1. Criação de um ficheiro CAD 3D .....	39
4.1.2. Realização de um desenho com a cotação .....	40
4.1.3. Elaboração de um texto com a descrição da interface e respetivas figuras – Criação da norma .....	41
4.2. Alteração de interfaces .....	42
4.2.1. Redução do comprimento de cabos .....	42
4.2.2. Correção de incoerências .....	43
4.2.3. Redução de operações de maquinaria .....	43
4.2.4. Correção de operações considerando limitações de maquinaria .....	44
4.3. Definição de dimensões técnicas .....	45
4.4. Parametrização de ferramentas de desenho .....	48
4.5. Definição do número de artigo de uma interface .....	51
4.6. Análise de ganhos .....	51

Levantamento, análise e criação de interfaces mecânicas para definição de *standards* de processos de produção

4.6.1. Ganhos na operação de maquinagem .....	51
4.6.2. Ganhos na operação de fixação das estruturas.....	52
5. Conclusões e perspectivas de trabalhos futuros .....	54
Referências .....	56
ANEXO A: Levantamento dos diâmetros e profundidades das furações da gama PM.....	57
ANEXO B: Desenho 2D do modelo BB5020, versão D .....	58
ANEXO C: Desenho 2D do modelo BB2512, versão E .....	59
ANEXO D: Levantamento das interfaces dos modelos BB2512 e BB5020 .....	60
ANEXO E: Proposta de norma para a interface da resistência de frenagem .....	61
ANEXO F: Proposta de norma para o quadro elétrico.....	62
ANEXO G: Desenho 2D do modelo BB5020, versão H.....	63
ANEXO H: Desenho 2D do modelo BB2512, versão G.....	64
ANEXO I: Demonstração do método para projetar as interfaces (exemplo da interface do pendural) .....	65
ANEXO K: Interfaces normalizadas (variantes, aplicações e códigos) .....	68

## **Siglas**

AMP – Arquitetura Modular do Produto

CAD – *Computer Aided Design*

SCSI - *Small Computer Systems Interface*

USB – *Universal Serial Bus*

VMEA – *Variant Mode and Effect Analysis*

## Índice de figuras

Figura 1- Logotipo atual da Adira. ....	1
Figura 2- Modelo de uma quinadora Adira GreenBender. ....	2
Figura 3 – Exemplo de Muri, Mura, Muda no transporte de mercadorias. Adaptado de <a href="http://www.lean.org/Common/LexiconTerm.cfm?TermId=264">http://www.lean.org/Common/LexiconTerm.cfm?TermId=264</a> consultado em 20-05-2015. ....	6
Figura 4 – Exemplo da aplicação de Arquitetura Integral e Arquitetura Modular num computador. Adaptado de (Ulrich 2004). ....	8
Figura 5 - Exemplos de aplicações de <i>standards</i> na arquitetura do produto e na produção. Adaptado de (Schuh 2011). ....	10
Figura 6- Exemplos de uma interface não acoplada (esquerda) e acoplada (direita). Adaptado de (Ulrich 1995). ....	11
Figura 7 – Exemplo de um sistema com as diferentes variantes de um produto composto por módulos. Adaptado de (Miller 1998) ....	12
Figura 8 - Diferentes tipos de modularidade. Adaptado de (Schuh s.d.). ....	13
Figura 9- Processo de definição de características comuns funcionais, tecnológicas e geométricas. Adaptado de (Schuh 2010). ....	14
Figura 10- Aplicação da estandardização de funções em empresas. Adaptado de (Schuh 2010)...	14
Figura 11- Efeitos da Arquitetura Modular do Produto. Adaptado de (Wöhe 2014). ....	16
Figura 12 - Níveis de normalização. Adaptado de (Coscarelli 2009). ....	18
Figura 13 - Hierarquia da variedade do produto na Adira. ....	19
Figura 14- Quinadora Adira BB5020. ....	20
Figura 15- Quinadora Adira PM13530. ....	21
Figura 16- Quinadora Adira PA13530. ....	22
Figura 17- Quinadora Adira PF13530. ....	22
Figura 18 – Barreiras luminosas de proteção. ....	23
Figura 19 – Micros fim de curso e respetivo suporte com destaque para a sua interface. ....	24
Figura 20 – Guiagem linear. ....	24
Figura 21 - Interface da guiagem linear. ....	24
Figura 22- Montagem da estrutura de uma máquina Adira BB5020 (vista frontal) ....	25
Figura 23- Montagem da estrutura de uma máquina Adira BB5020 (vista traseira). ....	26
Figura 24- Fixação de uma estrutura de uma quinadora à plataforma através de grampos. ....	27
Figura 25 - Desenho parcial da vista lateral da BB2512 com destaque para a interface de passagem de cabos e de fixação da máquina. ....	30
Figura 26 - Desenho parcial da vista lateral da máquina BB5020 com destaque para a interface de passagem de cabos e de fixação da máquina. ....	30
Figura 27 – Desenho parcial da vista lateral da máquina PF13530. ....	31

Figura 28 – Desenho parcial da vista lateral da máquina PF22030. ....	31
Figura 29- Desenhos parciais do montante lateral das PM 6020 e PM 22040, com destaque para a interface do suporte da esteira do laser safe. ....	31
Figura 30- Fotografia do suporte da esteira do laser safe. ....	32
Figura 31 – Desenhos parciais do montante esquerdo da PM13530 (esquerda) e da PM 22030 (direita), com destaque para a interface do pendural. ....	32
Figura 32- Desenho parcial da vista frontal da BB5020 com destaque para a interface (esquerda) e representação 3D do conjunto de acionamento do eixo y, que contém o fuso (direita). ....	33
Figura 33- Interface do conjunto de acionamento do eixo y, com destaque para a passagem das tuberias do redutor na respetiva furação. ....	34
Figura 34- Exemplo de falta de furação no montante esquerdo da máquina BB2512. ....	34
Figura 35- Estrutura da máquina Adira BB5020 com as interfaces existentes ....	35
Figura 36 – Exemplos de componentes cujas interfaces não estavam definidas. ....	36
Figura 37- Resistência de frenagem aplicada na estrutura da máquina BB2512. ....	39
Figura 38- Exemplo da interface criada em Solid Edge para a resistência de frenagem ....	39
Figura 39 – Desenho com as dimensões da interface da resistência de frenagem. ....	40
Figura 40- Desenho parcial da vista lateral do montante direito da máquina BB2512 (versão (F)).	41
Figura 41- Desenho parcial da vista lateral do montante direito da máquina BB2512 (versão (G)). .....	42
Figura 42- Desenho parcial da vista frontal da estrutura da máquina BB5020 (versão D) com destaque para as interfaces das tuberias do redutor (a) e do lubrificante (b). ....	43
Figura 43- Desenho parcial da vista superior da estrutura da máquina BB5020 (versão F) com destaque para as novas interfaces das tuberias do lubrificante do fuso. ....	44
Figura 44- Interface das tuberias do redutor (a) e da tuberia do lubrificante (b). ....	44
Figura 45- Exemplo da alteração das cotas de posição da interface da resistência de frenagem na estrutura da máquina BB5020. ....	45
Figura 46 - Dimensões técnicas da interface de fixação para as gamas Bluebender (cima) e PF (baixo). ....	46
Figura 47 - Dimensões técnicas da interface de fixação para a gama PM. ....	46
Figura 48 – Distâncias técnicas para o conjunto do quadro elétrico nos modelos BB2512 (esquerda) e BB5020 (direita). ....	47
Figura 49- Estrutura da máquina ADIRA BB5020 com as novas interfaces. Interface do cilindro do kit de lubrificação – 4 furos Ø5, M6 (1); Interface da tuberia do lubrificante. ....	48
Figura 50 - Modelos criados para as máquinas BB2512 (esquerda) e BB5020 (direita). ....	49
Figura 51 – Interface do pendural criada no <i>Solid Edge</i> e aplicada nos modelos BB2512 (esquerda) e BB5020 (direita). ....	50
Figura 52- Base de dados definida para as interfaces normalizadas. ....	50
Figura 53 - Exemplo do código proposto para a interface do quadro elétrico pequeno. ....	51

Figura 54 - Janela do Solid Edge com a visualização de uma estrutura base (direita) e da biblioteca de interfaces normalizadas apresentando a sua divisão por aplicações (seleção da aplicação no montante esquerdo). .....	65
Figura 55 - Janela do Solid Edge com a visualização das várias interfaces correspondentes ao montante esquerdo (seleção da interface do pendural). .....	65
Figura 56 - Janela do <i>Solid Edge</i> com a visualização da aplicação da interface do pendural no montante esquerdo da estrutura. Ao colocar a interface selecionada, aparece uma janela com as especificações que devem ser definidas: o plano de referência e as dimensões.....	66
Figura 57 - Janela do <i>Solid Edge</i> com a visualização da interface do pendural definida relativamente ao plano, à cota vertical relativa à aresta superior do montante, faltando definir a cota horizontal que será relativa à aresta direita do montante. ....	66

## Índice de tabelas

Tabela 1 - Tempos de furação para determinados diâmetros e profundidades (segundos) para uma velocidade de 50 mm/min. ....	28
Tabela 2- Análise dos ganhos obtidos no caso de as operações serem realizadas na secção de maquinagem.....	52
Tabela 3 – Análise dos ganhos obtidos com a aplicação da proposta de solução. ....	53
Tabela 4 - Dimensões das durações de cada interface dos modelos PM13530, PM13540 e PM22040, e respetivas propostas de alterações. ....	57
Tabela 5 - Interfaces de cotas funcionais das máquinas BB2512 e BB5020. ....	60
Tabela 6 - Exemplos de interfaces normalizadas com as respetivas variantes, aplicações e códigos. ....	68

## 1. Introdução

### 1.1. Enquadramento do projeto e motivação

A ideia da realização deste projeto foi proposta pela empresa Adira - Metal Forming Solutions S.A, através da sua relação privilegiada com a Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. O tema da dissertação surgiu da necessidade de melhorar o processo de desenvolvimento e de conceção das máquinas da empresa, uma vez que existiam certas dificuldades e incoerências nas estruturas das máquinas produzidas. Estes problemas estavam associados à falta de normalização em cada máquina e entre os vários tipos de máquinas. Em consequência, para emendar ou criar certos elementos que apresentavam não conformidades tornava-se necessário recorrer a correções manuais e à utilização ineficiente da mão-de-obra com elevados custos.

Este projeto passa, então, pela normalização de interfaces e, consequentemente, estandardiza processos de conceção e de produção. Uma vez que o tema deste projeto está relacionado com os dois processos mencionados, a sua realização decorreu no departamento de engenharia da Adira, que é constituído pela equipa de projeto e desenvolvimento do produto, a equipa de compras e a equipa de assistência técnica, e a pesquisa de informação decorreu, também, nas secções de montagem (Adira) e de maquinagem (Oxisol).

A escolha pessoal desta dissertação foi justificada pela possibilidade da sua realização em ambiente empresarial e pelo meu interesse pela convicção de que se trata de um tema do maior interesse e com inúmeros aspetos a explorar.

### 1.2. Apresentação da empresa



Figura 1- Logotipo atual da Adira.

A empresa Adira - Metal Forming Solutions S.A. foi fundada em 1956 por António Dias Ramos, começando por fabricar pequenos tornos, fresadoras e máquinas de aplainar. Atualmente, especializa-se no desenvolvimento, conceção, produção e comercialização de máquinas de corte e conformação de chapa. As máquinas produzidas dividem-se em três famílias: quinadoras (dobragem mecânica, ver Figura 2), guilhotinas (corte mecânico) e de corte por laser

A produção das máquinas é repartida por duas unidades fabris, ocupando um total de 15000 m<sup>2</sup>: a Oxisol (situada em Canelas, Vila Nova de Gaia) onde são produzidas as estruturas base através de operações de oxicorte, quinagem, corte à guilhotina e corte a laser, soldadura e maquinagem; e a Adira (situada em Bessa Leite, Porto) que realiza as montagens mecânicas, hidráulicas, elétricas, e também, os acabamentos e ensaios finais.

A Adira tem a inovação permanente como imagem de marca, dedicando-se a uma pesquisa científica e evolução tecnológica contínuas. Esta melhoria constante é possível graças às suas várias parcerias com universidades e institutos de investigação, como a FEUP, o INEGI,

Levantamento, análise e criação de interfaces mecânicas para definição de *standards* de processos de produção

o INESC, entre outros, que, juntamente com o departamento de Engenharia, desenvolvem a inovação e sofisticação presente nos seus produtos.

A empresa é líder ibérica no fabrico de máquinas-ferramenta, exportando 80% do volume de vendas para mais de 50 países e tendo como clientes marcas com grande reconhecimento mundial como a Boeing, Airbus, a Lockheed, a Air France, e também as portuguesas Vulcano, Salvador Caetano, Ogma, TAP, entre outras.



Figura 2- Modelo de uma quinadora Adira GreenBender.

### 1.3. O Projeto

O principal objetivo deste projeto é garantir a harmonização entre as interfaces das máquinas, de modo a aumentar a flexibilidade de produção e diminuir o tempo de resposta aos pedidos dos clientes. Desta forma poderá atingir-se uma maior capacidade de resposta ao aumento da competitividade global que existe cada vez mais no meio empresarial.

O projeto passa, então, pela criação de normas internas de engenharia que visam assegurar o alinhamento entre a conceção e a produção. As normas serão criadas tendo como base a definição de *standards* na conceção, os quais serão complementados com a parametrização de ferramentas de trabalho que, neste caso, é feita através do sistema CAD.

Para a realização desta dissertação foi sugerida a análise e identificação dos diversos componentes fabricados internamente, das suas interfaces e dos procedimentos de fabrico utilizados de modo a perceber os constrangimentos existentes nos processos de fabrico que poderiam vir a ser utilizados como restrições no processo de conceção.

### 1.4. Metodologia/Trabalho Desenvolvido

Ao longo desta dissertação foram analisadas as máquinas da família das quinadoras das gamas Bluebender, PF, PA e PM relativamente às suas estruturas e respetivas interfaces. Foram identificadas as incoerências existentes em cada gama da família das quinadoras, assim como as restrições que poderiam ser melhoradas na conceção e no desenvolvimento do produto, relacionando-as com o processo de produção.

Estabeleceram-se *standards* de interfaces, de produção e de cotas funcionais através da análise dos componentes de ligação e dos métodos de conceção e de produção. Para além disso, efetuaram-se correções, melhorias e criações de interfaces em projetos já existentes,

procedendo à sua aplicação nas máquinas que estavam a ser concebidas no momento. A partir da observação da aplicação das alterações realizadas nas máquinas, foi possível avaliar a sua correção e verificar a necessidade de possíveis modificações.

Através do recurso ao sistema CAD, definiram-se as várias interfaces relativamente às suas dimensões e posições na estrutura da máquina e ao conjunto de funções que representam. Assim, foi criada uma forma automática de utilizar cada interface em futuras criações ou alterações de estruturas.

## **1.5. Organização e Temas Abordados no Presente Relatório**

O presente relatório é composto por cinco capítulos principais. No capítulo 1 é feita uma breve apresentação da empresa, seguida de uma descrição do projeto e dos seus principais objetivos e um esclarecimento da metodologia utilizada e das etapas realizadas.

No capítulo 2, é apresentada uma revisão bibliográfica dos pontos teóricos tratados neste relatório: a Produção *Lean*, Arquitetura do Produto e Modularização. Estes pontos subdividem-se em vários subtópicos que exploram estes assuntos em maior profundidade.

No capítulo 3, é realizado um estudo das estruturas das máquinas-ferramenta da empresa e das suas interfaces. Com base nesse estudo, são apresentados os problemas encontrados no que diz respeito à normalização das interfaces.

No capítulo 4, apresentam-se as soluções propostas para os problemas apresentados, das quais fazem parte a criação e alteração de interfaces, a definição de dimensões técnicas e a parametrização de ferramentas de trabalho, desenvolvidos para otimizar o processo em causa. São, igualmente, apresentadas a definição do número de artigo das interfaces e a análise de ganhos.

Por fim, o capítulo 5 aborda as conclusões da realização do projeto em causa, assim como perspetivas de trabalhos futuros.

## 2. Revisão Bibliográfica

### 2.1. Produção *Lean*

A Produção *Lean* é definida por Womack et al. (1990) como “um modelo organizacional de produção que se centra na satisfação do cliente e no propósito de criar uma filosofia de melhoria contínua através da eliminação dos desperdícios para aumentar a produtividade e reduzir o custo.” A Produção *Lean* tem sido o método de gestão de abastecimento mais utilizado nos últimos 50 anos, tendo como principal objetivo reduzir o desperdício tanto quanto possível e atingir a perfeição: reduzindo custos, eliminando defeitos e inventários e produzindo com variedade teórica infinita.

A criação do conceito Produção *Lean* foi desenvolvida por Eiji Toyoda e Taiichi Ohno na Toyota no Japão, após a 2ª Guerra Mundial. Segundo Womack et al. (1990), a melhor forma para descrever este sistema de produção é contrastando-o com os sistemas que o antecederam: produção artesanal (*Craft Production*) e produção em massa (*Mass Production*) (Womack, Jones, and Roos 1990).

A produção artesanal é um método utilizado para produzir exatamente o que é pedido pelo cliente. Os produtos são feitos um de cada vez, os trabalhadores têm de ser altamente qualificados e as ferramentas devem ser simples mas flexíveis. O problema deste sistema é, principalmente, o elevado preço dos bens produzidos, por isso, no início do século XX, foi desenvolvida a produção em massa como alternativa. Este método tem como objetivo desenvolver produtos standardizados e fabricá-los em grandes séries. Os problemas associados a este sistema prendem-se com a necessidade de mais fornecimento, trabalhadores e espaço no processo de produção. Para além disso, os *standards* de cada produto são mantidos durante longos períodos de tempo devido ao elevado custo associado a alterações com vista à produção de novos produtos, ou seja, o cliente obtém produtos a um preço mais baixo mas não é possível oferecer grande variedade (Womack, Jones, and Roos 1990).

A Produção *Lean* apresenta-se como a forma de conciliar o melhor dos dois sistemas anteriormente conhecidos possibilitando custos mais baixos do que os da produção artesanal e mais flexibilidade do que a da produção em massa. Este tipo de produção recorre a trabalhadores com múltiplas competências e utiliza máquinas com alta flexibilidade e automatização de modo a produzir em séries e variedades elevadas. A utilização da palavra *Lean* (Magro) justifica-se uma vez que, através deste sistema, se consegue obter uma redução de recursos relativamente aos outros métodos (Womack, Jones, and Roos 1990).

Para perceber a produção *Lean* é essencial distinguir a diferença entre valor e desperdício, sendo necessário ter em consideração cada componente individualmente e aplicar o Pensamento *Lean* (*Lean Thinking*) a cada um.

Um produto tem valor quando é capaz de oferecer ao cliente as características que ele pretende: a melhor qualidade, no tempo certo e a um preço apropriado. As expectativas associadas ao valor estão, então, relacionadas com: o preço, a qualidade, o prazo de entrega e a resposta à necessidade de alterações do produto.

Cadeia de valor é o processo que identifica cada passo na cadeia de abastecimento (*supply chain*). Foca-se na entrega de produtos e serviços aos clientes, dando prioridade aos que geram valor e eliminando os restantes.

A cadeia de valor é composta por atividades de valor e atividades sem valor. As atividades de valor transformam materiais e informação em algo que o cliente pretende, enquanto que as atividades sem valor gastam recursos e não contribuem para o resultado final desejado pelo cliente (Jacobs 2010).

Considera-se como desperdício algo que não acrescenta valor ao produto da perspectiva do cliente e do mercado. Existem dois géneros de desperdício: o necessário, que não pode ser eliminado por ser inerente ao processo, e o desnecessário, que pode ser eliminado de acordo com as circunstâncias do processo.

Ohno e Shingo identificaram sete tipos de desperdício ou *muda* (palavra japonesa para “desperdício”):

- **Produtos defeituosos:** a má qualidade dos produtos pode ser resultado de projetos mal elaborados, prática insuficiente, falta de aplicação de métodos de standardização, utilização imprópria das ferramentas, entre outros. O desperdício causado por defeitos inclui planeamentos interrompidos, incumprimento de prazos, fluxo de produção desequilibrado e tempo de preparação (*setup time*) e tempo de execução (*runtime*) devido a reparações e trabalho extra não planeados;
- **Produção excessiva:** acontece quando o produto é feito sem ter em vista nenhum cliente específico, em maior quantidade ou com mais antecedência do que foi pedido. Este tipo de desperdício causa o consumo desnecessário de recursos, pessoal, máquinas, espaço de armazenamento e energia;
- **Inventários:** o armazenamento de produtos, componentes e matéria-prima requer custos elevados e cria desperdício de vários géneros como, a disponibilidade de armazenamento, transações, movimentação, contagem e atualização de registos, entre outros;
- **Movimentação desnecessária:** deslocações excessivas por parte dos operários como caminhar, curvar ou levantar objetos são consideradas não só desperdício de esforço mas também potenciadoras de problemas de segurança e de saúde. Para além disso, enquanto estão a ocorrer estas deslocações a produção efetiva está parada;
- **Transportes:** movimentações desnecessárias de materiais, recursos ou componentes do produto para vários locais aumentam o tempo de produção e, portanto, são consideradas desperdício;
- **Esperas:** Segundo Ohno e Shingo, o segundo tipo de desperdício a ter em conta, a seguir ao Inventário, é o tempo de espera desnecessário que ocorre ao longo do processo de produção. Estes tempos podem ser devidos a avarias de equipamentos, estrangulamentos (*bottlenecks*), falta de material e tempos de preparação ou agendamento inadequado;
- **Processamento dispensável ou incorreto:** este desperdício é causado pela realização de operações que foram executadas de forma incorreta, pela utilização errada ou inexperiente de ferramentas, por instruções de trabalho impróprias, por

Levantamento, análise e criação de interfaces mecânicas para definição de *standards* de processos de produção

falhas de comunicação com o cliente ou pela inexistência de processos normalizados (Bell 2006, Melton 2005).

Para além dos *Muda*, na identificação dos desperdícios, existem também os *Mura* e os *Muri*, designações de origem japonesa, que devem ser igualmente eliminados. O desperdício *Mura* é relativo às irregularidades, inconsistências e variabilidades que podem ocorrer no espaço fabril. O desperdício *Muri* refere-se ao que é irracional, podendo ser causado por excesso (sobrecarga) ou por insuficiência (ver Figura 3) (Pinto 2009).



Figura 3 – Exemplo de Muri, Mura, Muda no transporte de mercadorias. Adaptado de <http://www.lean.org/Common/LexiconTerm.cfm?TermId=264> consultado em 20-05-2015.

Segundo Womack & Jones, existem cinco etapas essenciais no desenvolvimento e na implementação da Produção *Lean*. São estas:

- **Definir o valor** – o qual é atribuído da perspetiva do cliente, ou seja, é tudo aquilo pelo qual o cliente está disposto a pagar, tendo em conta um produto específico, com determinadas funções e características, disponível a um dado preço e num tempo determinado. Assim sendo, produtos que não correspondam aos requisitos do mercado são desperdício e devem ser reduzidos ou eliminados;
- **Identificar o fluxo de valor** – para cada produto ou família de produtos, existem três atividades críticas que fazem parte do fluxo de valor: a definição do produto (desde o projeto ao lançamento), a gestão de informação (desde o pedido à entrega) e a transformação física (desde a matéria prima até aos produtos acabados). A identificação destas atividades vai permitir uma identificação mais clara dos processos da linha de produção, sendo estes distinguidos em três tipos: os que criam valor, os que não criam valor mas que são necessários e os que não criam valor nem são necessários, ou seja, são considerados desperdício;
- **Estabelecer continuidade no fluxo de valor** - tendo em conta os primeiros dois princípios, é importante garantir a continuidade do fluxo de produção da empresa.

Levantamento, análise e criação de interfaces mecânicas para definição de *standards* de processos de produção

Assim sendo, não devem existir tempos de espera, movimentos desnecessários, stocks e filas de espera.

- **Produção Puxada** (*Pull*) – só deve ser desenvolvido e fornecido um produto que esteja de acordo com o que o cliente quer, quando este o encomenda. De modo a que isso seja possível, o processo de produção deve ser suficientemente flexível para permitir alterações e produtos personalizados.
- **Alcançar a perfeição** – assim que se cumpram todas as outras etapas, é essencial que o processo de produção continue a evoluir, passando por constantes reavaliações e melhorias, de forma a atingir a otimização e a perfeição, através da eliminação de desperdício e da criação de valor (Womack 1996).

Uma das formas de se conseguir aplicar a Produção *Lean* é realizando melhorias no *design* do produto através da standardização de vários parâmetros como, a configuração do produto, os seus componentes e o processo de produção (Womack 1996).

## 2.2. Arquitetura do Produto

Um produto pode ser caracterizado em termos funcionais ou físicos. As suas características funcionais estão relacionadas com o seu desempenho global, enquanto que as físicas dizem respeito aos elementos, componentes e subconjuntos que materializam as funções do produto e que são dispostos por vários blocos (Ulrich 2008).

A arquitetura do produto é um esquema que organiza a disposição dos elementos funcionais de um produto por blocos físicos, apresentando as interações entre esses blocos e definindo, assim, a forma como um produto pode ser modificado. O seu objetivo é “definir os blocos físicos básicos de construção do produto relativamente à sua função e estabelecer quais são as suas interfaces com o resto do equipamento” (Ulrich 1995). A sua principal característica é a modularidade, a qual tem um carácter relativo, uma vez que os produtos não se dizem somente modulares ou integrais, apresentando mais ou menos modularidade relativamente aos outros produtos (Ulrich 2008, Mikkola 2001).

Existem, então, dois tipos de arquiteturas: a modular e a integral. A arquitetura modular distingue-se por blocos que implementam um ou alguns elementos funcionais na sua integralidade, sendo que as interações entre os blocos estão bem definidas e são essenciais ao funcionamento básico. Os blocos modulares permitem que se realizem modificações mais facilmente, dado que se podem alterar elementos independentemente, sem que os outros sofram qualquer alteração. A arquitetura integral é o oposto da modular, é utilizado mais do que um bloco e este implementa muitos elementos funcionais, sendo as interações pouco definidas. Em comparação com a arquitetura integral, a arquitetura modular apresenta a grande vantagem de requerer um trabalho muito menos complexo quando surge a necessidade de realizar alterações a qualquer componente, porém, a arquitetura integral desenvolve os produtos com o intuito de terem o melhor desempenho possível (ver Figura 4) (Ulrich 2008, Mikkola 2001).

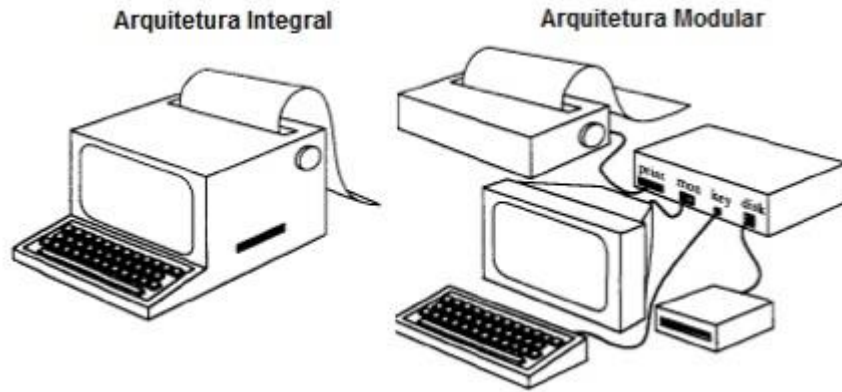


Figura 4 – Exemplo da aplicação de Arquitetura Integral e Arquitetura Modular num computador. Adaptado de (Ulrich 2004).

A arquitetura do produto é definida durante o desenvolvimento do conceito do produto, passando por duas etapas: a definição das tecnologias básicas e dos seus princípios de funcionamento e as considerações sobre a variedade (Ulrich 2008).

A arquitetura do produto define a variedade e a standardização dos componentes. A variedade entende-se como sendo a gama de produtos que podem ser produzidos num determinado período de tempo de acordo com a procura. Como os produtos modulares apresentam uma complexidade menor no seu desenvolvimento, podem dispor de uma maior variedade sem causarem grandes dificuldades ao sistema de fabrico. A standardização é a repetição da utilização de componentes ou blocos em diversos produtos que permitindo fabrico de blocos numa quantidade e qualidade mais elevadas, assim como, a redução dos custos totais. A possibilidade de standardização de um bloco para que possa ser empregue em vários produtos distintos, depende da implementação de um ou de alguns elementos funcionais utilizáveis amplamente (Ulrich 2008).

### 2.2.1. Planeamento da plataforma (*Platform Planning*)

Os produtos desenvolvidos através da arquitetura do produto têm como vantagem o facto de serem constituídos por muitos componentes em comum, apesar das suas diferenças. O *design* e os aspetos positivos dos componentes, comuns aos vários produtos, denominam-se plataforma do produto (Ulrich 2008).

O planeamento da plataforma do produto envolve o compromisso entre a distinção e a harmonização do produto e dos seus componentes. Por um lado, é necessário que haja várias versões distintas dos produtos, por outro, é vantajoso harmonizar o seu *design* e o processo de fabrico (Ulrich 2008).

Existem dois tipos de planeamento de plataforma: o de diferenciação e o de harmonização.

O planeamento de diferenciação torna explícitas as diferenças que existem entre as várias versões de um produto tendo em conta a perspetiva do cliente e do mercado. As principais características que diferem nos vários modelos e que são mais relevantes para o cliente, denominam-se atributos de diferenciação (Ulrich 2008).

O planeamento de harmonização representa as semelhanças físicas entre as várias versões dos produtos existentes. Este planeamento pode ser feito através de uma matriz que identifica

os blocos que são comuns a cada variante do produto e quantos tipos de bloco existem (Ulrich 2008).

### 2.3. Modularização

O estudo da modularização foi iniciado por volta de 1900 com vista a maximizar economias de escala através da estandardização de componentes. Simon (1955; 1984) foi um dos primeiros a estudar este conceito, analisando a hipótese de dividir o conceito de “conhecimento-informação” em áreas distintas (Mikkola 2001).

Resolver o dilema entre ter uma economia de escala ou de gama tem vindo a ser cada vez mais o principal tema de pesquisa por parte das empresas de produção devido ao atual ambiente competitivo do mercado. A economia de gama resulta da utilização dos mesmos recursos, permitindo o fabrico de um grande número de produtos distintos, o que leva a uma redução do custo total de produção. Já a economia de escala representa uma redução de custos através da produção de um determinado produto numa quantidade maior.

Pedidos únicos do mercado requerem produtos e serviços customizados. Ao mesmo tempo, a grande competição existente a nível internacional eleva a pressão dos custos. Assim, é necessário obter uma solução em que haja a conciliação entre o sucesso de produção e a sustentabilidade económica. Essa solução passa por potenciar simultaneamente as economias de escala e de gama. Até agora, a principal metodologia utilizada para resolver este dilema tem sido a adaptação da arquitetura do produto de forma a alcançar a harmonização entre o produto e o processo de fabrico através de plataformas modulares e da criação de *standards* (Kampker 2012).

A modularização é um método estrutural de otimização do produto no que diz respeito à variedade da produção que permite uma organização eficaz de produtos e processos complexos, decompondo-os em módulos com níveis distintos de variedade e interligados por interfaces estandardizadas. Deste modo, simplificam-se tarefas que podem ser orientadas independentemente funcionando, porém, em conjunto. O principal objetivo deste método é a possibilidade da geração eficiente de variedade através da utilização de apenas alguns elementos/módulos distintos. Obtém-se, assim, um aumento da variedade externa, dado que é oferecida uma maior gama de produtos e uma redução da complexidade interna, uma vez que o processo de produção é simplificado. São atingidos, então, elevados níveis de uniformização, através da reutilização de componentes que permitem que se atinja economias de escala e de gama, simultaneamente (Schuh s.d., Mikkola 2001).

Tem existido cada vez mais a aplicação da modularização em empresas devido às suas inúmeras vantagens, a saber:

- A melhoria da capacidade de especialização, a qual permite que haja uma diferenciação entre a concorrência;
- O aumento de produtividade através da supressão de operações de pré montagem;
- O impulso da taxa de inovação;
- A flexibilidade para desenvolver e testar os módulos e os novos produtos.

Para além disso, a modularização permite a produção dos componentes separadamente de forma permutável e a sua utilização em diferentes configurações sem comprometer a integridade do sistema.

Deste modo, as empresas conseguem ter uma vantagem competitiva reduzindo os custos, conseguindo economias de escala e de gama e aumentando a flexibilidade de produção (Mikkola 2001).

### 2.3.1. Standards

Presentemente, o planeamento industrial depara-se com um trilema entre a inovação, a produtividade e a customização. A inovação é a capacidade de acompanhar a evolução dinâmica da tecnologia e das necessidades e requisitos dos clientes através de um rápido desenvolvimento dos produtos, evitando, paralelamente, o risco de cópia. A customização do produto é essencial para que seja possível atender à grande variedade de necessidades do mercado, oferecendo uma diversificada gama de produtos, atingindo-se, assim, uma economia de gama. Já a produtividade é a eficiência do processo de fabrico do produto através da utilização de *standards* (Schuh 2011).

Porém, a customização limita a economia de escala ao desenvolver produtos tão variados e únicos, se estes forem criados de raiz, devido ao esforço que é exigido para a sua elaboração, dificultando, assim, a produção em série e a rápida evolução dos produtos. Este problema pode ser solucionado através da definição de *standards*, quer para o produto, quer a nível da produção. Contudo, a aplicação de *standards* pode restringir a liberdade de inovação (Schuh 2011).

De modo a resolver esta questão, é necessário definir o nível adequado de *standards* harmonizados para o produto e para a produção, sendo que é essencial a realização de um estudo aprofundado do produto, do mercado e da produção, assim como o entendimento de toda a cadeia de valor, de forma a que se atinja esta harmonização (Schuh 2011).

*Standards* são mais do que componentes físicos, podendo estar também representados na arquitetura do produto, uma vez que esta caracteriza os princípios mais relevantes que são utilizados no design dos produtos.

A utilização de *standards* tem como vantagens a redução dos custos globais, o aumento da economia de escala e o aparecimento de novas formas de flexibilidade (Schuh s.d.).

Na Figura 5 estão três exemplos de *standards* utilizados na arquitetura do produto e na produção aplicados na VW. Estes *Standards* estão relacionados com dimensões técnicas: exemplo da posição do motor, caixa de velocidades, suspensão, unidade de ar condicionado e pedais; *standards* em interfaces: instalações estandardizadas para diferentes tipos de eixos; *standards* na produção: exemplo da estandardização da sequência de montagem.

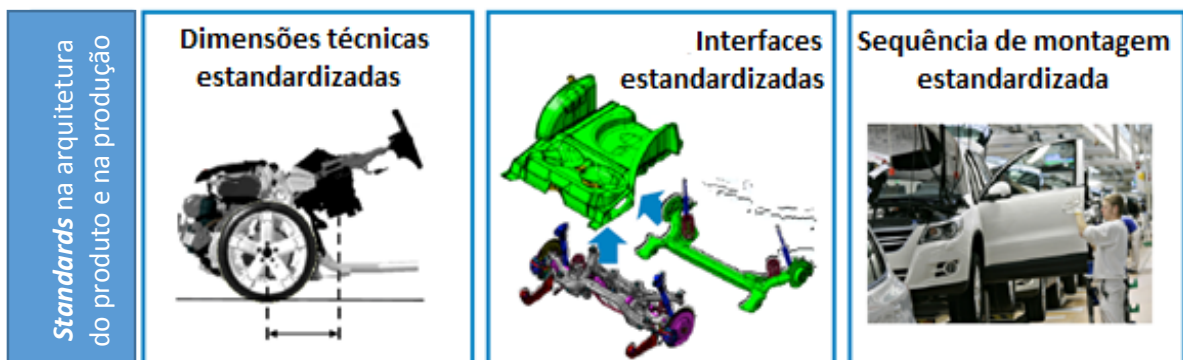


Figura 5 - Exemplos de aplicações de *standards* na arquitetura do produto e na produção. Adaptado de (Schuh 2011).

### 2.3.2. Interfaces

Segundo Schuh, interfaces são conexões entre elementos da estrutura do produto que facilitam a criação de novas variantes através da possibilidade de permutabilidade dos módulos entre produtos diferentes e da combinação de vários módulos num determinado produto (Schuh s.d., Schuh 2014) .

As interfaces definem o limite de combinações entre os módulos e da sua montagem em diferentes produtos. Existem dois tipos de interfaces, as principais e as subinterfaces, que se distinguem pelas suas propriedades, desempenho e princípio de junção. Para além disso, as interfaces podem ser conexões geométricas ou interações sem contacto, como é o caso da ligação por infravermelhos (Schuh 2010, Ulrich 1995).

A especificação de uma interface define o protocolo das ligações principais através das interfaces dos componentes e da geometria de acoplamento, no caso de haver conexões geométricas. Assim sendo, as interfaces podem ter de ser definidas de acordo com um protocolo *standard*. Vários fabricantes de produtos já adotaram esses protocolos estandardizados, como por exemplo: a tecnologia SCSI (Small Computer Systems Interface), os *standards* de pneu/jante em automóveis, entradas USB, entre muitos outros. Por vezes, estes protocolos são definidos e adotados somente dentro de uma empresa, podendo não obedecer a *standards* externos (Ulrich 1995).

As interfaces podem ser, também, acopladas ou não acopladas. Se uma alteração num determinado componente exigir uma alteração noutro componente para que o produto funcione corretamente, então a interface é acoplada. Dois componentes físicos que estejam conectados por uma interface, estão quase sempre acoplados em algum nível. Porém, o acoplamento da interface só é significativo quando as alterações modificam o componente na sua utilidade. Na Figura 6, está apresentado um exemplo de uma cama ligada a uma estrutura não acoplada e a outra acoplada. No caso da estrutura acoplada, se a espessura da cama for alterada, a estrutura também terá de sofrer alterações de modo a que haja um bom suporte da cama (Ulrich 1995).

As características das interfaces, assim como o seu nível de especificação e de estandardização restringem o nível de ligação entre os componentes. Assim, a relação entre as interfaces e os componentes restringe a compatibilidade entre os componentes de uma determinada arquitetura do produto. Diz-se que um componente impõe elevadas restrições de interface quando é dependente de muitos outros componentes (Mikkola 2001).

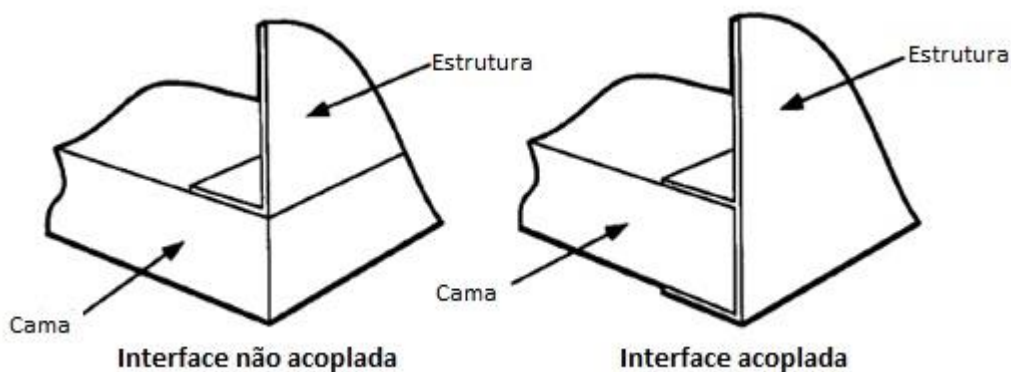


Figura 6- Exemplos de uma interface não acoplada (esquerda) e acoplada (direita).  
Adaptado de (Ulrich 1995).

Os requisitos necessários para o desenvolvimento das interfaces são tanto físicos como funcionais e devem ser definidos, principalmente, pela estrutura modular, as variantes modulares e as regras de configuração do produto (Schuh 2014).

As interfaces devem ser desenvolvidas cuidadosamente, de modo a permitirem a combinação de módulos ao longo de um elevado período de tempo. Para este efeito, é, então, necessário criar a documentação das interfaces, que passa por três passos:

1. Criação de um ficheiro CAD 3D;
2. Realização de um desenho com as tolerâncias e toda a informação relevante da produção;
3. Elaboração de um texto com a descrição da interface e figuras da mesma (Schuh 2014).

### 2.3.3. Módulos

Módulos são entidades que permitem uma combinação variada de componentes com funções distintas mas com interfaces e interações estandardizadas em comum, resultando na criação de produtos distintos. Os módulos possibilitam, então, uma compatibilidade diversificada entre componentes e uma configuração personalizada eficiente do produto para cada cliente (Schuh s.d.).

Na Figura 7, observam-se as diferentes variantes de um produto que podem existir num sistema de acordo com os vários módulos e componentes. Assim sendo, um módulo deve ser definido de acordo com o produto e com o sistema a que pertence.

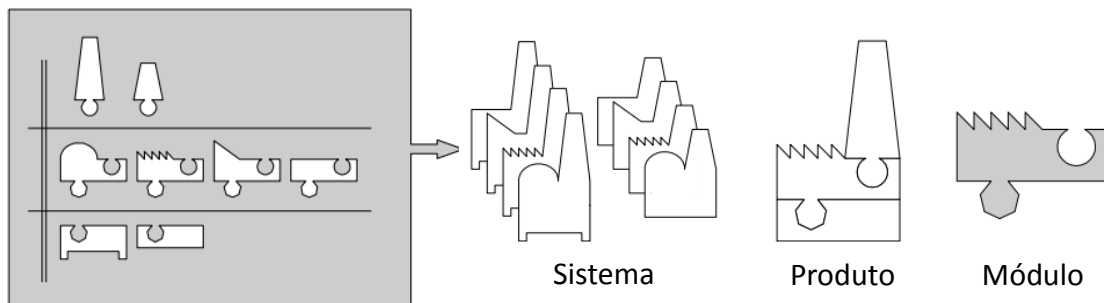


Figura 7 – Exemplo de um sistema com as diferentes variantes de um produto composto por módulos.  
Adaptado de (Miller 1998)

### 2.3.4. Tipos de modularidade

Segundo Schuh, existem seis diferentes tipos de modularidade (ver Figura 8) de acordo com as possíveis combinações entre os componentes, que de seguida se apresentam:

1. **Modularidade através da semelhança de componentes:** quando o mesmo componente é utilizado em vários produtos;
2. **Modularidade através de corte adequado:** a única mudança ocorre no dimensionamento dos componentes;
3. **Modularidade *Bus*:** existe uma estrutura básica comum à qual são ligados vários componentes por meio de interfaces estandardizadas;
4. **Modularidade através de mudança de componentes:** semelhante à anterior;

Levantamento, análise e criação de interfaces mecânicas para definição de *standards* de processos de produção

5. **Modularidade Mista:** produtos que podem ser feitos de componentes diferentes, utilizando interfaces independentes;
6. **Modularidade de partes:** permite a combinação de componentes com interfaces estandardizadas para a obtenção de uma construção desconhecida à partida (exemplo: Legos) (Schuh s.d.).

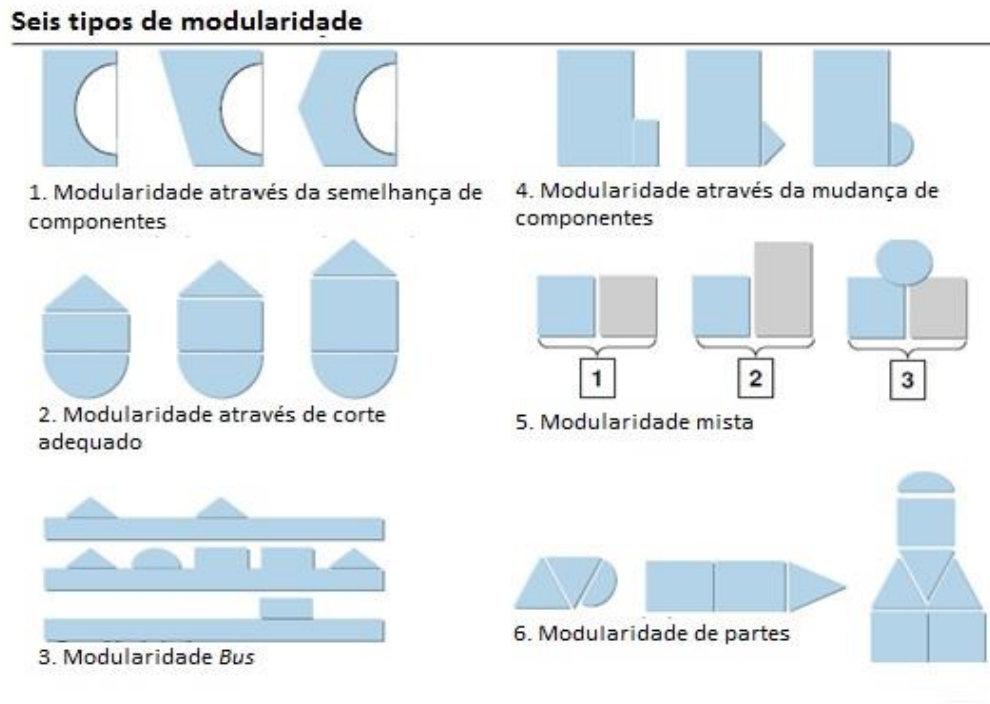


Figura 8 - Diferentes tipos de modularidade. Adaptado de (Schuh s.d.).

### 2.3.5. Características comuns

Devido à grande importância da produção de produtos customizados, é de extrema relevância assegurar a utilização de semelhanças, abrangendo não só componentes físicos mas também a arquitetura.

Em consequência, é necessário reunir informações que poderão ser úteis e comuns a vários produtos distintos.

O nível de semelhanças na modularização depende da reutilização de componentes entre séries e linhas de produto (Schuh s.d.).

A integração de semelhanças no processo e nos produtos permite reduzir os custos ao recorrer à utilização de elementos comuns, realizar atividades repetidas e aplicar frequentemente conhecimento já existente. Ao repetir estes procedimentos, obtém-se uma redução dos custos devido à diminuição do tempo de desenvolvimento e à melhoria da eficiência do processo causada pela economia de escala (Schuh 2010).

O processo de definição de características comuns passa por criar *standards* a nível da funcionalidade, tecnologia e geometria, criando-se, assim, uma base para o desenvolvimento da plataforma e dos módulos do produto, reduzindo a dificuldade nessa etapa. Este processo consiste em três fases. De início, os *standards* são definidos de acordo com as funções e variantes do produto ou componente. Segundo Pahl & Beitz, as funções podem ser

diferenciadas segundo cinco tipos: básicas, auxiliares, especiais, adaptáveis e específicos. De seguida, são estandardizadas as características tecnológicas, como se pode observar no exemplo da Figura 9, no caso de um controlo de climatização, foi restringido o controlo apenas por ar, em vez de ser por ar e água. Por fim, são definidos os *standards* de geometria, sendo essencial a definição das interfaces necessárias e a estandardização dos espaços de instalação (Schuh 2010).

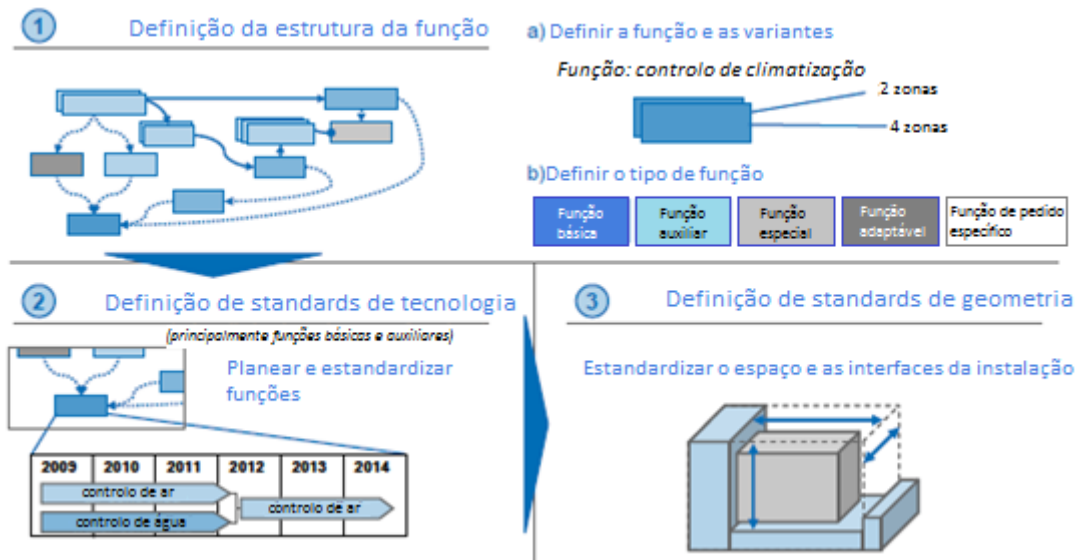


Figura 9- Processo de definição de características comuns funcionais, tecnológicas e geométricas. Adaptado de (Schuh 2010).

Na Figura 10, estão apresentados os resultados de um inquérito realizado a 89 empresas do ramo automóvel, industrial e outras, relativo à aplicação da estandardização de funções. Estes resultados revelaram que as empresas do ramo automóvel já têm uma grande preocupação com a estandardização das características, sendo que mais de 60% já aplica este método. Em contrapartida, apenas 15% do sector industrial adota este procedimento (Schuh 2010).

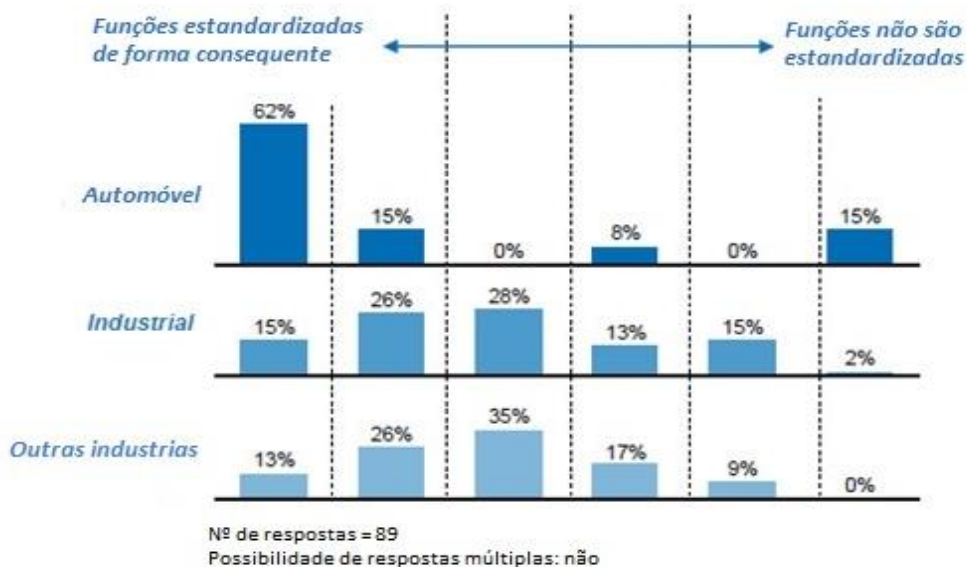


Figura 10- Aplicação da estandardização de funções em empresas. Adaptado de (Schuh 2010).

## 2.4. Arquitetura Modular do Produto

### 2.4.1. Objetivos

Como já foi referido, atualmente, a indústria depara-se com um dilema entre a economia de escala e de gama relativamente ao *design* dos produtos e da produção. De modo a solucionar este problema, cada vez mais está a ser implementado o método da Arquitetura Modular do Produto (*Modular Product Architecture*), também denominado, Plataforma Modular do Produto (*Modular Product Platform*). Esta abordagem é uma forma sistemática para definir *standards* que se foca na modularização da estrutura da produção, reduzindo a sua dependência ao garantir que o impacto de uma mudança é reduzido e que só afeta uma pequena quantidade de módulos, sendo que estes poderão ser alterados facilmente (Schuh 2003, Schuh 2014).

Com a utilização deste método torna-se possível alcançar economias de escala através do efeito de repetição, assim como reduzir os custos por unidade (aproximadamente 20% no desenvolvimento, na produção e na logística e 30% no tempo de comercialização (*time to market*), melhorar a qualidade e acelerar a reação e a adaptação às mudanças de requisitos do cliente com o mínimo esforço (Schuh 2014). Para além disso, consegue-se configurar e reconfigurar produtos individualmente, sem perder a economia de escala, e reduzir a complexidade recorrendo ao uso de semelhanças (Schuh 2010).

A Arquitetura Modular do Produto (AMP) apresenta os seguintes objetivos e vantagens:

- Reduzir o *lead time* e, conseqüentemente, diminuir o tempo de lançamento de novos produtos, devido à utilização de *standards* e à combinação de módulos, evitando significativamente os problemas técnicos;
- Otimizar a flexibilidade para novos requisitos do mercado estabilizando as soluções da empresa ao longo do tempo;
- Aumentar a fiabilidade do produto uma vez que, como os módulos são utilizados em mais do que um produto, os problemas técnicos são reduzidos;
- Atenuar a complexidade interna (da produção);
- Ampliar a variedade externa (gama de produtos oferecida);
- Diminuir os custos graças ao facto de se conseguir atingir a economia de escala (Schuh 2014, Schuh 2010).

Apesar das diversas vantagens, a AMP também apresenta alguns inconvenientes, uma vez que não é possível satisfazer todas as necessidades dos clientes através da combinação de conjuntos de módulos previamente definidos. O esforço que é necessário relativamente ao desenho do produto e da produção é maior, dado que a plataforma deve satisfazer os requisitos de todos os produtos (Schuh 2010).

Cada vez mais existe uma crescente competitividade no mercado devido ao surgimento da concorrência de baixo orçamento e aos grandes desenvolvimentos tecnológicos e, conseqüentemente, houve um aumento significativo da procura de produtos personalizados.

Na Figura 11, estão apresentados os resultados de um inquérito realizado a 87 empresas sobre o impacto que tem a aplicação da AMP no que se prende com a diferenciação em relação a outras empresas concorrentes. É possível concluir que o maior impacto causado foi no tempo de reação a alterações inesperadas na procura do mercado, que passou a ser

muito mais rápido. É, ainda, possível verificar que houve uma grande redução dos custos de desenvolvimento e produção do produto (Wöhe 2014).

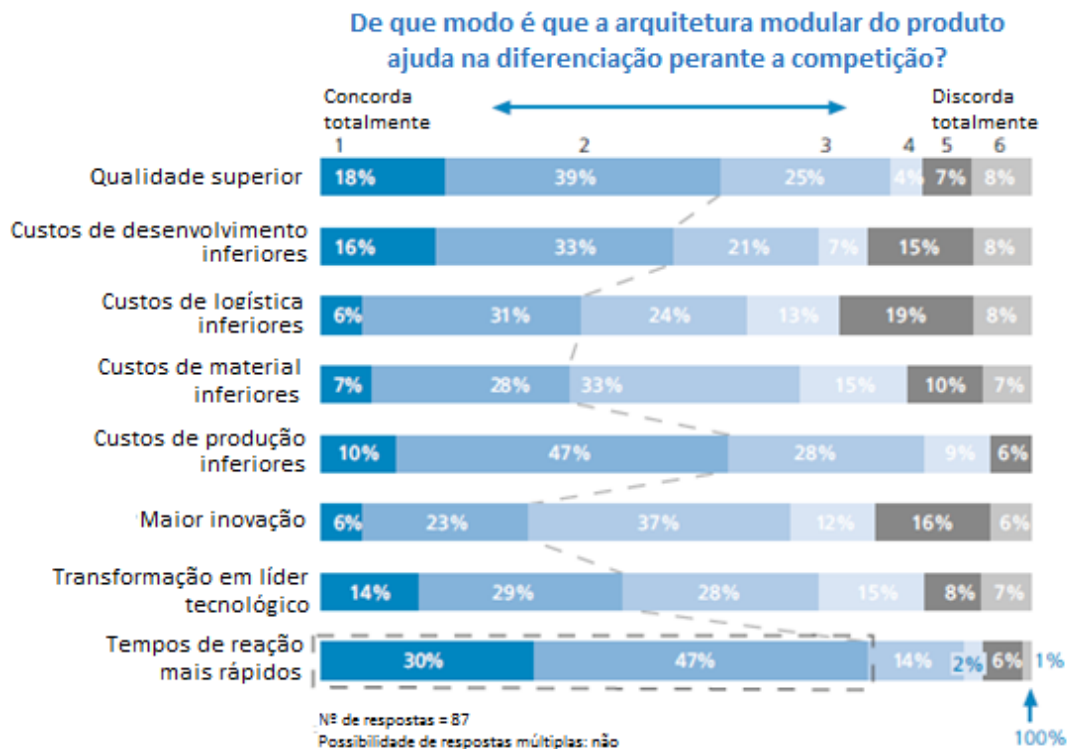


Figura 11- Efeitos da Arquitetura Modular do Produto. Adaptado de (Wöhe 2014).

### 2.4.2. Processo de desenvolvimento

Existem diversos métodos para o desenvolvimento de produtos modulares, porém estes apresentam um défice no que se prende com uma perspetiva integrada do produto e das necessidades dos clientes.

No campo de gestão de complexidade, existem inúmeras abordagens que lidam com o processo de desenvolvimento do produto e com o impacto que a sua variedade pode desencadear nesse processo.

O método *Variant Mode and Effect Analysis* (VMEA) foi desenvolvido por Caesar com o propósito de alcançar um nível ótimo de complexidade. O VMEA engloba as áreas do produto, da produção e da organização e permite que haja uma focagem somente em soluções que se afiguram como promissoras (Schuh 2014).

Existe uma falha em todos os métodos de modularização no que toca a abrangerem uma perspetiva mais geral de um processo de desenvolvimento do produto no momento da definição de *standards*, em que as necessidades dos clientes, os efeitos do sistema de produção e a seleção de módulos específicos e das suas variantes acabam por não ser devidamente considerados (Schuh 2014).

As áreas mais relevantes da arquitetura do produto, do sistema de produção e dos requisitos do mercado deveriam sempre ser tidas em consideração, no entanto os processos existentes tendem a centrar-se apenas em elementos específicos do processo de desenvolvimento do produto (Schuh 2014).

G. Schuh et al., apresentam um método de desenvolvimento do processo para arquiteturas modulares do produto que tem em atenção tanto as diferentes perspectivas do mercado como do produto e da produção.

Esse método consiste em três fases, a saber:

1ª Fase – Identificação de potenciais da plataforma modular do produto: procede-se a uma análise do mercado e são determinados os requisitos dos clientes e as vendas futuras. Analisam-se os produtos existentes e a cadeia de valor como base da plataforma. São definidos os objetivos da arquitetura modular do produto e convertidos para uma especificação de requisitos. Esta fase tem, então, como objetivo definir uma estrutura genérica do produto baseando-se em produtos já existentes

2ª Fase – Definição de *standards*: São identificados os elementos constituintes que vão definir as interdependências do produto interno e os processos de produção. Estes elementos não são influenciados pelos pedidos dos clientes e, por isso, devem ser normalizados.

3ª Fase – Definição da estrutura da plataforma: A estrutura modular é definida de acordo com os elementos constituintes identificados na 2ª fase. As variantes dos módulos, a configuração e as interfaces também são definidas. Assim, é realizada a especificação da arquitetura modular do produto que também inclui os *standards* necessários assim como os elementos flexíveis da plataforma (Schuh 2014).

## 2.5. Normalização

A definição de normas surgiu com a necessidade de racionalizar a produção de modo a desenvolver produtos a um custo mais reduzido e com uma maior utilidade, o que sempre foi uma preocupação recorrente na indústria. A normalização (ou standardização) é aplicada nos produtos, componentes ou interfaces que têm uso frequente, definindo restrições nas suas características e na relação funcional entre eles. A normalização tem como objetivo reduzir a variedade de componentes utilizados e das suas características, de modo a abranger a maior gama possível e baseando-se em princípios de economia de esforços, de materiais e de energia, entre outros. (Morais 2006).

A normalização pode ser desenvolvida aplicando o conceito do Pensamento *Lean*, através da redução ou eliminação de desperdícios tais como produtos defeituosos, produção excessiva, esperas, movimentação de materiais e componentes, processamento dispensável ou incorreto e inventários.

A normalização intervém em grande parte dos processos e os seus principais objetivos são:

- Facilitar a comunicação entre o produtor e o cliente;
- Simplificar o processo de produção;
- Uniformizar as características dos vários produtos e respetivos componentes e materiais, reduzindo a variedade em armazenamento;
- Definir o controlo das características de produção;
- Assegurar características relativas à segurança, saúde e proteção ambiental;
- Auxiliar na criação e produção de novos produtos, facilitando a inovação (Morais 2006).

Uma norma é definida por um “documento escrito, aprovado por organismos qualificados (nacionais, regionais e internacionais), que contém prescrições técnicas elaboradas com base em conhecimentos científicos e tecnológicos” (Morais 2006). Também podem existir normas empresariais, que foram aprovadas pela própria empresa e que são aplicáveis dentro da mesma. Na Figura 12, apresentam-se os níveis de normalização referidos por ordem de exigência, sendo que normas mais exigentes são mais restritivas.

As normas de Desenho Técnico têm como objetivo definir os princípios gerais de representação aplicáveis aos desenhos técnicos.

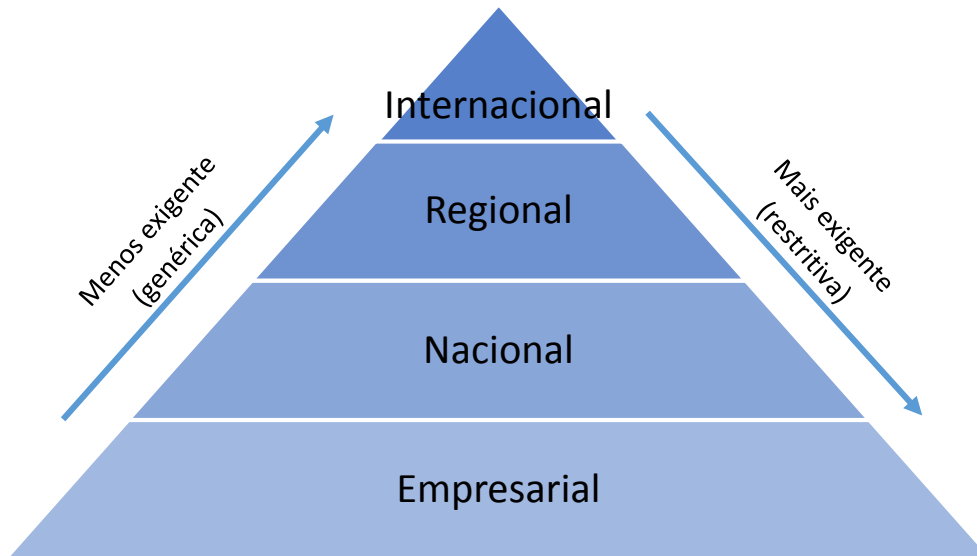


Figura 12 - Níveis de normalização. Adaptado de (Coscarelli 2009).

### 3. Estudo das quinadoras

Uma vez que a Adira oferece uma grande variedade de produtos (customização), é necessário assegurar também a flexibilidade de produção garantindo um rápido desenvolvimento dos produtos (inovação). Para isso, é essencial criar *standards* do produto e da produção. Para a definição de *standards* foi feito um estudo dos produtos e dos processos de desenvolvimento e conceção e de fabrico do produto.

Na Figura 13 está representada a hierarquia da variedade de produtos existente na Adira, S.A. Existem seis gamas de quinadoras, mas apenas estão apresentadas as gamas que foram estudadas neste projeto. Nesta hierarquia destacam-se os modelos da gama Bluebender, assim como alguns dos seus elementos e componentes.

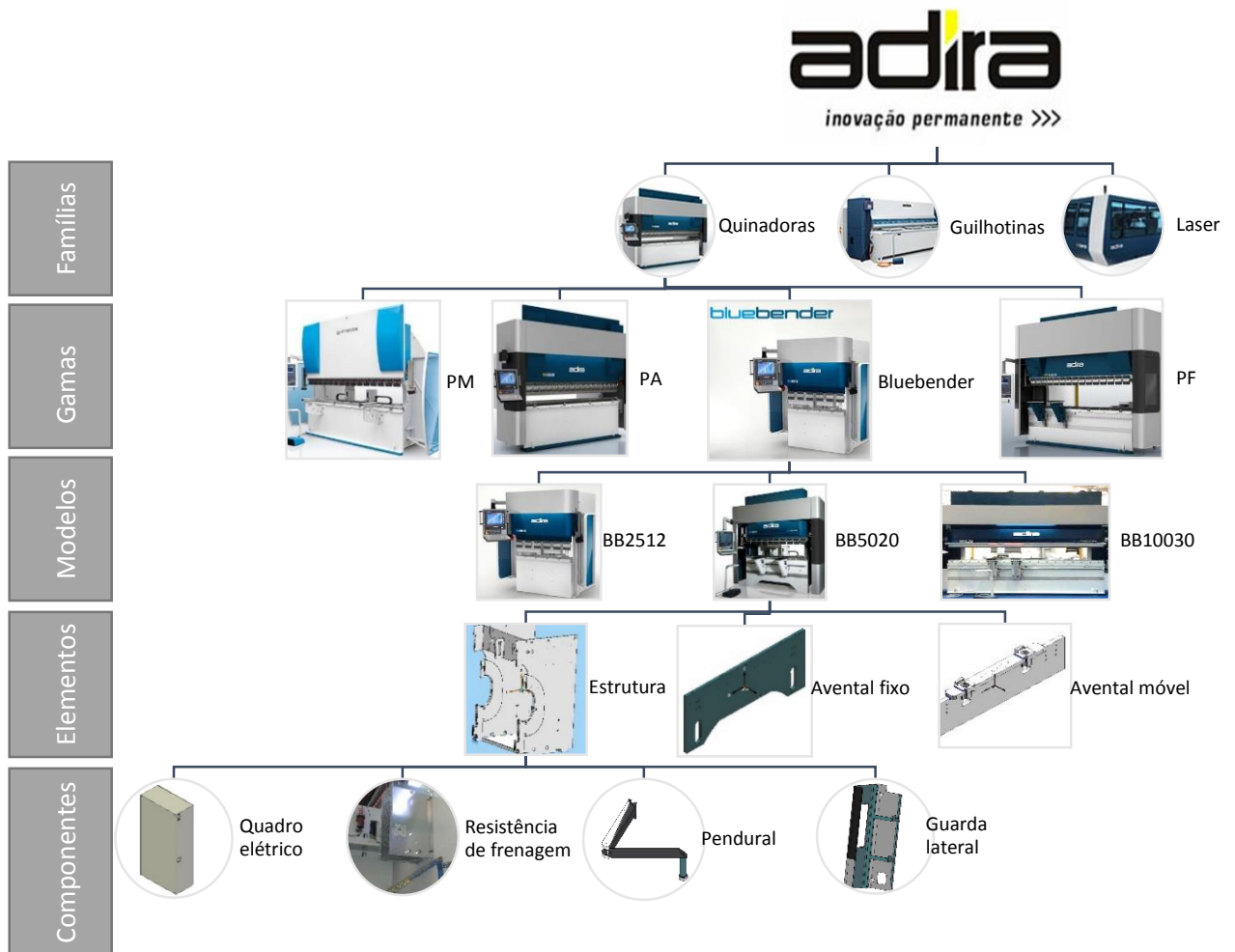


Figura 13 - Hierarquia da variedade do produto na Adira.

### 3.1. Estruturas

No presente capítulo, serão estudadas as estruturas das várias gamas existentes na família das quinadoras. A Adira oferece diversas soluções de quinagem, disponibilizando seis gamas personalizáveis ou de tipo chave-na-mão.

As quinadoras são máquinas de dobragem de chapa de espessura compreendida geralmente entre os 0,8 até 20 mm. Existem, também, máquinas e ferramentas desenvolvidas para utilização fora desta gama de valores.

Dependendo do meio de atuação das quinadoras da Adira, estas podem ser classificadas em dois grupos:

- Elétricas
- Hidráulicas

As máquinas elétricas caracterizam-se pela sua suavidade, limpeza e baixo consumo energético. Apresentam também baixa capacidade de carga, o que não lhes permite dobrar chapas de elevada espessura.

As máquinas da gama Bluebender (ver Figura 14), de acionamento elétrico, são de pequenas dimensões, com capacidades de 250 kN, 500 kN e 1000 kN. Apresentam mesas de comprimentos úteis de quinagem 1200, 2000 e 3000 mm, respetivamente. As anteriores combinações constituem assim os modelos: BB2512, BB5020 e BB10030 comercializados pela Adira.



Figura 14- Quinadora Adira BB5020.

As máquinas hidráulicas da Adira subdividem-se em 3 tipos:

- PM – Gama de Entrada
- PA – Gama Intermédia
- PF – Gama Elevada

As máquinas hidráulicas são máquinas com maior capacidade de força, quando comparadas com as máquinas elétricas, e maior ajuste às necessidades do cliente. Existem várias opções de compra, desde máquinas simples e económicas, até máquinas rápidas e de elevada precisão.

As máquinas da gama PM (ver Figura 15), pertencentes à família das quinadoras hidráulicas, são as mais económicas e menos sofisticadas tecnologicamente. São também as que apresentam um maior grau de standardização. Nesta gama incluem-se sete modelos *standard* de 600, 900, 1350, 1600 e 2200 kN de capacidade de força e comprimento de quinagem de 2000, 2500, 3000 e 4000 mm. Os sete modelos existentes são: PM6020, PM 9025, PM 13530, PM 13540, PM 16030, PM 16040 e PM 22040.



Figura 15- Quinadora Adira PM13530.

A gama PA (ver Figura 16) é muito flexível, pois permite a sua personalização recorrendo a uma grande variedade de sistemas de melhoria das características da máquina, nomeadamente, personalização dos eixos de esbarro, inclusão de sistemas de medição de ângulo, etc. As capacidades de força dos modelos são de 1350 kN, 1600 kN e 2200 kN, enquanto que o comprimento de quinagem pode ser de 3000 ou 4000 mm. É possível criar seis modelos distintos: PA 13530, PA 13540, PA 16030, PA 16040, PA 22030 e PA 22040, que poderão assumir centenas de combinações diferentes tendo em conta a personalização do esbarro e os sistemas anexos. As estruturas base desta gama são iguais às da gama PM, por isso, apenas as estruturas da gama PM foram analisadas neste relatório.



Figura 16- Quinadora Adira PA13530.

A gama PF (ver Figura 17) oferece quinadoras “topo de gama” com modelos desde 600 a 2200 kN de capacidade de força e comprimento de quinagem desde 2000 a 4000 mm. São máquinas rápidas, que apresentam elevada precisão e alto rendimento. Os modelos que constituem esta gama são: PF 6020, PF 9025, PF 13530, PF 16030, PF 16040, PF 22030, PF 22040.



Figura 17- Quinadora Adira PF13530.

Para além das gamas apresentadas, existem também as gamas PH e GreenBender que não foram analisadas, uma vez que são máquinas muito específicas com aplicações especiais.

### 3.2. Processo de standardização na Adira

As máquinas da Adira já têm passado por algumas medidas de normalização, como é o caso das arquiteturas das estruturas, das chapas utilizadas, e de alguns componentes. Assim, existem vários elementos das máquinas que podem ser comutáveis entre os diferentes modelos de cada gama de máquinas, constituindo assim um conjunto de elementos *standard* com uma total flexibilidade na sua aplicação. Exemplo disso são a maioria dos elementos de segurança das máquinas, nomeadamente:

#### 1 – Barreiras luminosas de proteção (células posteriores);

As barreiras utilizadas pela empresa são da *ReeR*, empresa que fabrica dispositivos de deteção e segurança. Estes elementos são utilizados nas famílias das quinadoras e das guilhotinas, constituindo um elemento flexível de segurança. Estas barreiras podem ser fornecidas em larga escala, reduzindo o seu custo e facilitando a gestão do seu *stock*. Na Figura 18 observam-se fotografias destes componentes.



Figura 18 – Barreiras luminosas de proteção.

#### 2 – Micros fim de curso;

São elementos transversais a todas as máquinas da Adira. A necessidade destes dispositivos nas máquinas é notória, sendo que atualmente a sua fixação é realizada de forma a permitir uma total modularidade dos mesmos, independentemente do modelo e da gama de máquinas a que se destinam. Na Figura 19 estão apresentadas fotografias destes elementos e do seu suporte de fixação, destacando-se a respetiva interface standardizada.

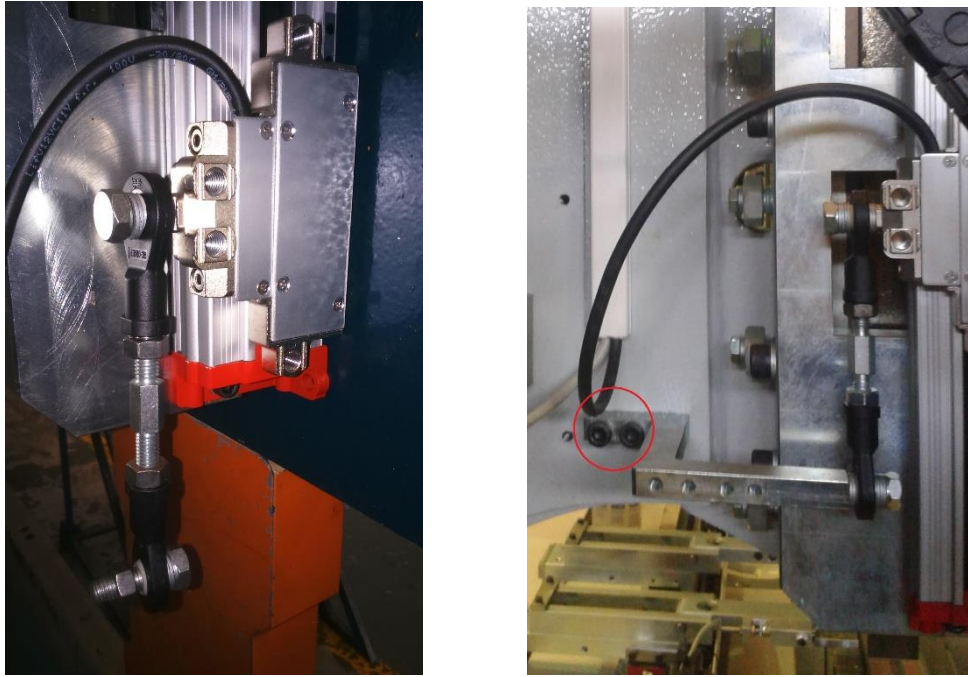


Figura 19 – Micros fim de curso e respetivo suporte com destaque para a sua interface.

### 3 – Guiagens lineares;

São elementos comuns a todas as máquinas, que são aprovionados em elevadas quantidades dada a sua necessidade e a forma transversal como podem ser utilizados, sendo que a respetiva interface está normalizada para todas as gamas. Na Figura 20 está visível a guiagem linear implementada na quinadora BB5020 e na Figura 21 a respetiva interface.



Figura 20 – Guiagem linear.

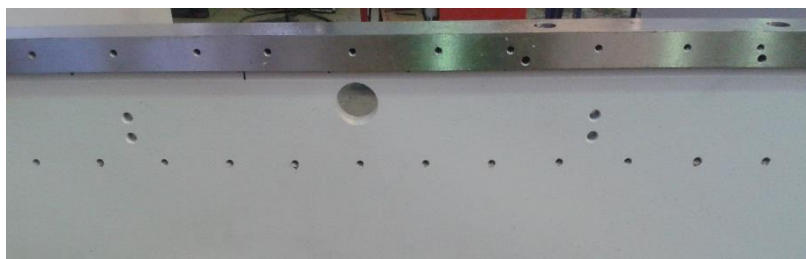


Figura 21 - Interface da guiagem linear.

Todos estes elementos demonstram que o processo de standardização já tem sido implementado na Adira em vários aspetos e tem sido desenvolvido ao longo do tempo consoante as necessidades mais ou menos implícitas do sistema. Contudo, ainda não foi realizado um estudo mais aprofundado neste sentido, sendo que existem poucas restrições na conceção e desenvolvimento dos produtos e no seu fabrico, o que resulta em algumas não conformidades, levando à necessidade de criar *standards* para aumentar a eficácia nestes processos.

No projeto em causa, o processo de standardização das máquinas da Adira passará pelas gamas Bluebender, PM, PA e PF, uma vez que a gama PH é customizável consoante os pedidos, dificultando este tipo de processo.

Na Figura 22 e Figura 23 pode-se observar uma montagem completa em CAD da máquina BB5020. Para que a visualização dos principais componentes que a integram seja mais fácil foram ocultados alguns componentes que os encobriam (blindagens e guardas). Com este tipo de representação da máquina, é possível perceber de uma forma mais clara a função de cada interface e quais as restrições a que está sujeita, uma vez que se consegue verificar quais são os elementos que lhe estão ligados e que interações existem entre cada componente. Os elementos mais relevantes para este projeto foram legendados de modo a dar uma noção mais clara das suas funções e localizações na máquina.



Figura 22- Montagem da estrutura de uma máquina Adira BB5020 (vista frontal) – Guarda lateral (1), Avental móvel (2), Fuso (3), Guia (4), Avental fixo (5), Guarda lateral (6), Pendural (7), Conjunto de acionamento do eixo Y (8).

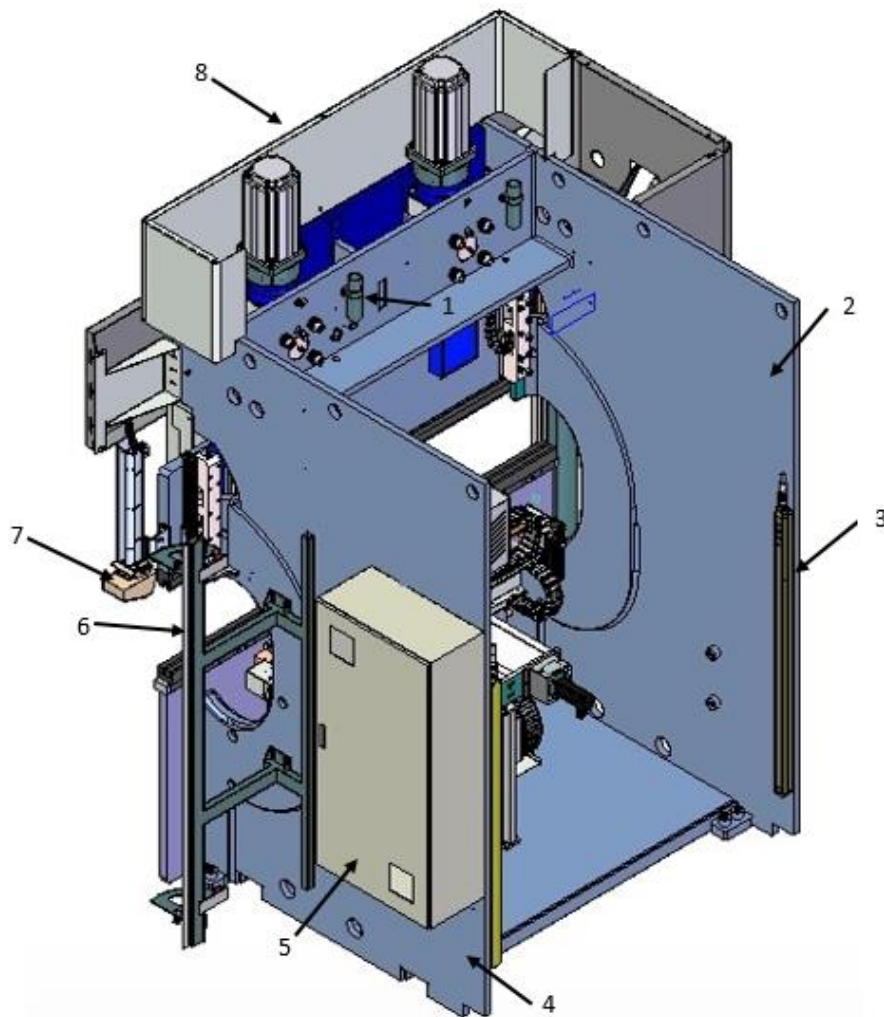


Figura 23- Montagem da estrutura de uma máquina Adira BB5020 (vista traseira) – Cilindro do *kit* de lubrificação (1), Montante esquerdo (2), Célula lateral (3), Montante direito (4), Quadro elétrico (5), Suporte da guarda lateral (6), Laser safe (7), Blindagem frontal (8).

### 3.3. Estudo do processo de fabrico

As furações de cada máquina são efetuadas na fase de maquinagem, que é realizada na Oxisol em seis centros de maquinagem da marca espanhola ZAYER, com controlo numérico que permite efetuar operações de fresar, furar e roscar. Estes centros têm 3 a 5 eixos e cursos até 12 m em X, 12,5 m em Y e 3,5 m em Z, num igual aperto de peça. Estas limitações de curso variam consoante o modelo, e a cota de uma determinada furação não pode ser maior do que o curso do centro de maquinagem que a vai executar. Por exemplo, se o curso de uma máquina for de 1200 mm, esta nunca poderá efetuar uma furação com uma cota de 1400 mm. Portanto, é importante ter em atenção quais os centros de maquinagem disponíveis para cada máquina e, conseqüentemente, quais as operações que podem ser realizadas.

### 3.3.1. Cursos de maquinagem

Os centros de maquinagem utilizados para maquinar os modelos Bluebender e PF são os modelos 210 e 215, os quais têm cursos de 8 m e 12 m em X, 12,5 m em Y e 3 m e 3,5 m em Z, respetivamente.

Nos modelos PA e PM é utilizado o centro de maquinagem 53 que tem cursos de 6 m em X, 12,5 m em Y e 2 em Z.

Em alguns destes casos o curso do centro de maquinagem utilizado não é suficiente para efetuar todas as operações pretendidas por isso, são utilizados gabarits (modelos com as medidas das furações) para traçar as posições dos furos e depois, executar as operações manualmente. As furações feitas manualmente são mais morosas do que as que são efetuadas automaticamente e, para além disso, está a ser utilizada mãe-de-obra ineficiente, por isso é importante eliminar estes tipos desperdícios. Em consequência, é de evitar projetar operações que estejam fora do curso da máquina utilizada.

### 3.3.2. Fixação da estrutura

Na fase de maquinagem, a fixação da estrutura à plataforma é feita através de uns grampos que são colocados nos rasgos (granzepes) da plataforma. Geralmente, esses grampos fixam a estrutura num dos seus rasgos ou furos mais afastados e numa das suas extremidades (ver Figura 24) para atenuar as vibrações da estrutura ao maquinar. Existe o inconveniente de ter de se mudar esses grampos para rasgos da plataforma em posições diferentes, consoante o modelo da máquina a ser fixado, uma vez que as cotas dos furos variam. Assim, é necessário uniformizar as distâncias entre os pontos de fixação da máquina assim como as suas cotas verticais, de forma a não ter de haver uma constante alteração de posição dos grampos e, conseqüente, desperdício de tempo.



Figura 24- Fixação de uma estrutura de uma quinadora à plataforma através de grampos.

### 3.3.3. Tempos de furação

Para além da análise destes fatores no processo de maquinagem, também foram estudados os tempos de furação consoante as dimensões (diâmetro e profundidade) do furo a ser executado.

Na Tabela 1 estão apresentados os tempos de furação para os diâmetros e profundidades de furações mais frequentes nas máquinas da Adira, considerando uma velocidade de avanço de 50 mm/min. A velocidade ótima de avanço seria de 100 mm/min porém, ao maquinar uma estrutura, ocorrem vibrações que devem ser evitadas. Em consequência, de modo a atenuar essas vibrações, é necessário reduzir a velocidade de avanço da broca, sendo que a velocidade utilizada mais frequentemente é de 50 mm/min.

Como se pode observar, os tempos só variam com a profundidade, mantendo-se constantes com a variação de diâmetro. Verifica-se, então, que da menor profundidade (16 mm) para a maior (30 mm) há uma variação de 16,8 segundos, o que numa furação de 4 furos resulta, aproximadamente, numa variação de 1 minuto. Esta variação pode ser significativa no caso de o modelo da máquina ter muitas furações. Portanto, foram elaboradas tabelas em Excel (ver Anexo A) com os diâmetros e profundidades das furações existentes em alguns modelos da gama PM, de modo a verificar as inconsistências e o que poderia ser alterado com o intuito de uniformizar as dimensões das furações e reduzir a variedade.

Tabela 1 - Tempos de furação para determinados diâmetros e profundidades (segundos) para uma velocidade de 50 mm/min.

<i>Profundidade (mm)</i>	<i>Diâmetro (mm)</i>			
	<b>5</b>	<b>6,75</b>	<b>8</b>	<b>10,5</b>
<b>16</b>	19,2	19,2	19,2	19,2
<b>20</b>	24	24	24	24
<b>25</b>	30	30	30	30
<b>30</b>	36	36	36	36

### **3.4. Estudo do processo de concepção e desenvolvimento**

A criação e projeto das estruturas de cada máquina são desenvolvidos no departamento de concepção e desenvolvimento da Adira recorrendo a um *software* de desenho CAD 3D que, neste caso, é o *Solid Edge*. Atualmente, cada estrutura e respetivas interfaces são desenvolvidas individualmente. Para projetar todas as operações de uma máquina, o método utilizado é, basicamente, partir de uma estrutura base do modelo pretendido e criar cada furo, um a um, utilizando a ferramenta *Hole* e inserindo cotas e dimensões manualmente, através da comparação com outros modelos já realizados.

Esta metodologia é muito morosa e pouco rigorosa, uma vez que tudo é realizado manualmente, furo a furo e utilizando outros modelos já existentes como base de comparação. Devido à falta de precisão associada a este método, por vezes, acontecem esquecimentos de operações e mau dimensionamento, levando a inconsistências nos modelos e incoerências das interfaces com o componente que lhes está associado. Em consequência desta elevada propensão a erros, torna-se premente normalizar todas as interfaces, assim como o método utilizado para as projetar.

O trabalho inicial deste projeto prendeu-se com uma análise e comparação dos desenhos 2D da estrutura e do avental móvel de cada modelo nas várias gamas com, o objetivo de identificar as diferenças entre cada um no que diz respeito à existência, às dimensões e ao posicionamento das várias interfaces. As interfaces analisadas estão relacionadas com as furações que permitem a ligação dos vários componentes que constituem as máquinas. Foi realizado, igualmente, um levantamento das interfaces que estavam em falta nos desenhos e que, até então, tinham de ser feitas manualmente pelos operários. A partir desta análise foi possível observar que faltavam muitas das operações que deviam estar no desenho, que existiam várias inconsistências entre cada modelo, inclusivamente dentro da mesma gama, e que havia incoerências entre as interfaces e o componente de ligação.

#### **3.4.1. Disparidades entre modelos**

##### **Gama BB**

Na Figura 25 e Figura 26 estão representados os desenhos parciais das vistas laterais (parte inferior) dos montantes dos modelos BB2512 e BB5020, respetivamente.

As interfaces assinaladas têm como função a passagem de cabos elétricos provenientes do quadro elétrico e, na operação anterior de maquinagem, também servem para fixar as estruturas à plataforma através da utilização de grampos (essa plataforma tem vários rasgos a todo o comprimento onde são fixos os grampos).

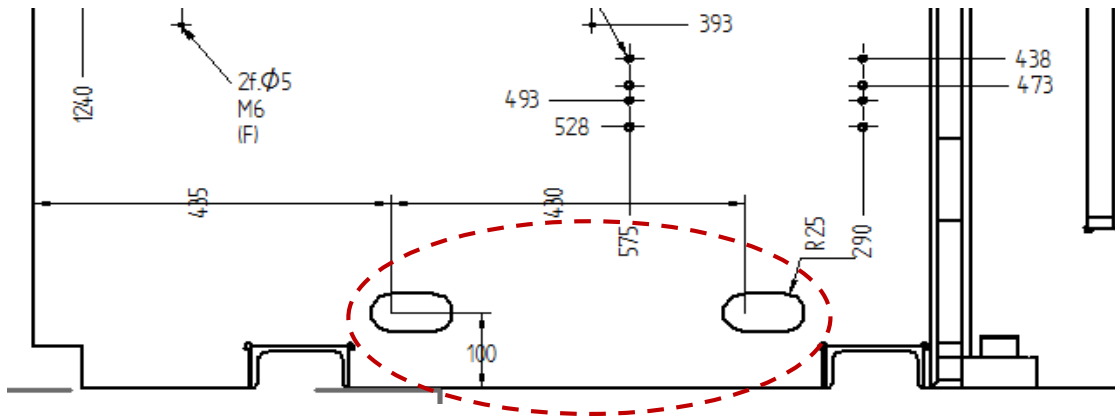


Figura 25 - Desenho parcial da vista lateral do montante da BB2512 com destaque para a interface de passagem de cabos e de fixação da máquina.

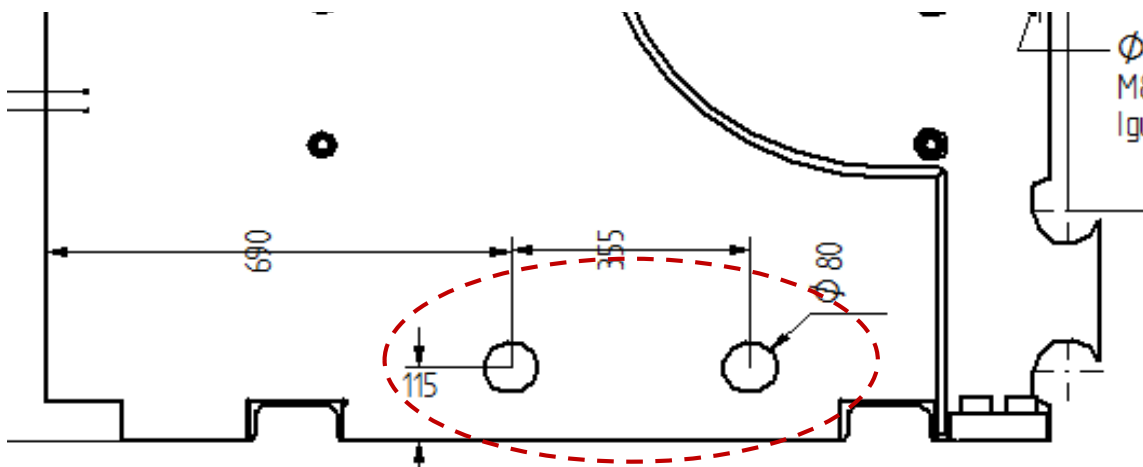


Figura 26 - Desenho parcial da vista lateral do montante da máquina BB5020 com destaque para a interface de passagem de cabos e de fixação da máquina.

Como é possível observar, as distâncias entre as interfaces mencionadas e a sua geometria são bastante distintas quando comparadas nos dois modelos. Esta diferença é prejudicial em vários níveis. Em primeiro lugar, na fase do projeto da estrutura, é necessário desenhar duas interfaces diferentes, com cotas distintas. Em segundo lugar, como já foi referido, na operação de maquinagem na fixação da estrutura existe o inconveniente de ter de se mudar os grampos para rasgos em posições diferentes, de acordo com as cotas das interfaces e, para além disso, é preciso programar, também, operações diferentes, existindo assim um grande desperdício no tempo de preparação. Por fim, na fase de montagem do quadro elétrico e dos respetivos cabos é necessário ter em atenção se o comprimento de cabos utilizado para um modelo é suficiente para o outro e se é o mais adequado. Todos estes fatores são inconvenientes relativamente ao desperdício de tempo e de material, por isso é essencial que haja uma harmonização de todas as interfaces em todos os modelos.

Como a operação de maquinagem da gama BB é realizada na mesma máquina que a gama PF, é de interesse que as interfaces referidas sejam similares nas duas gamas. As Figura 27 e Figura 28 são vistas parciais dos montantes das máquinas PF 13530 e PF 22030, respetivamente, com destaque para as interfaces já referidas e as suas cotas. É possível verificar que há disparidades nas distâncias entre os furos, assim como entre a cota vertical. Antes de mais, é necessário uniformizar a interface dentro da gama PF e, depois, relativamente à gama BB.

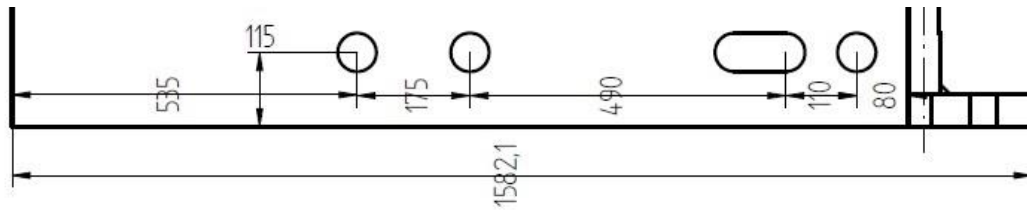


Figura 27 – Desenho parcial da vista lateral da máquina PF13530.

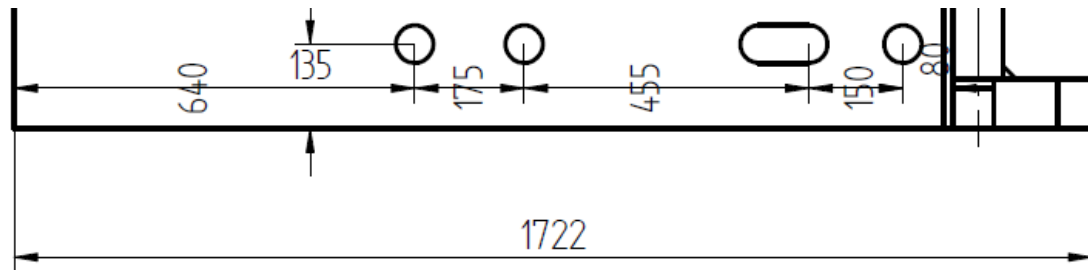


Figura 28 – Desenho parcial da vista lateral da máquina PF22030.

## Gama PM

Na Figura 29, estão representados desenhos parciais da vista lateral dos montantes direitos dos modelos PM6020 e PM 22040, com destaque para a interface do suporte da esteira do *laser safe*. Como se pode observar, esta furação está representada de forma diferente, na PM 6020, o furo de cima está mais à esquerda, enquanto na PM 22040 está mais à direita.

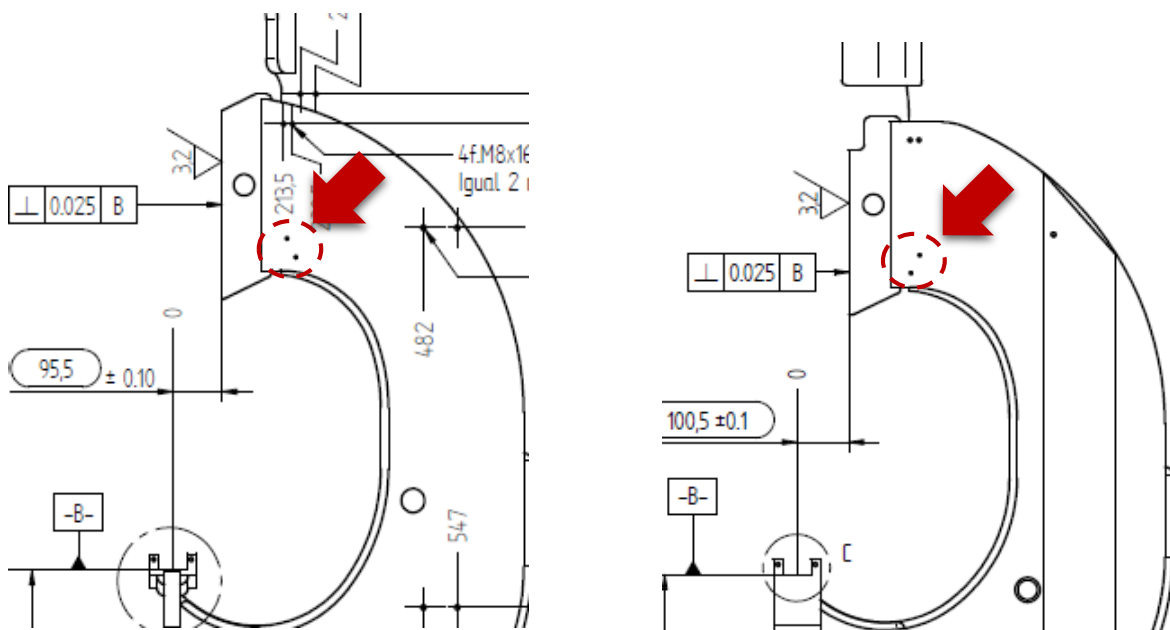


Figura 29- Desenhos parciais do montante lateral das PM 6020 e PM 22040, com destaque para a interface do suporte da esteira do laser safe.

Como é possível verificar na Figura 30, a furação do suporte da esteira do *laser safe* tem quatro furos e só é necessário utilizar dois deles para a fixação da peça. Assim sendo, qualquer uma das furações desenhadas nos modelos PM6020 e PM22040 estão adequadas para essa função. Porém, como o objetivo é normalizar todas as interfaces, este tipo de situações deve ser evitada.

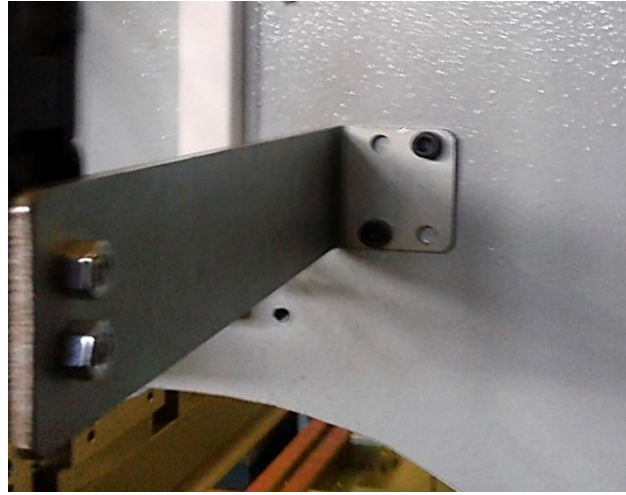


Figura 30- Fotografia do suporte da esteira do laser safe.

## Gama PF

Na Figura 31, apresenta-se o exemplo da interface do pendural na gama PF, nomeadamente nas máquinas PF13530 e PF22030. Foi detetada uma inconsistência na furação desta interface relativamente à dimensão dos furos pois, como é possível verificar, a furação da PF13530 está definida para um diâmetro de 6,8 mm enquanto que o diâmetro da PF22030 é de 8,5 mm. Depois de analisar a componente de ligação do pendural à máquina, foi possível confirmar que os parafusos necessários para uma fixação adequada tinham de ser M10, ou seja, a furação apropriada seria de 8,5 mm e não de 6,5 mm. Esta situação também se verificou nos modelos PF16030 e PF22040.

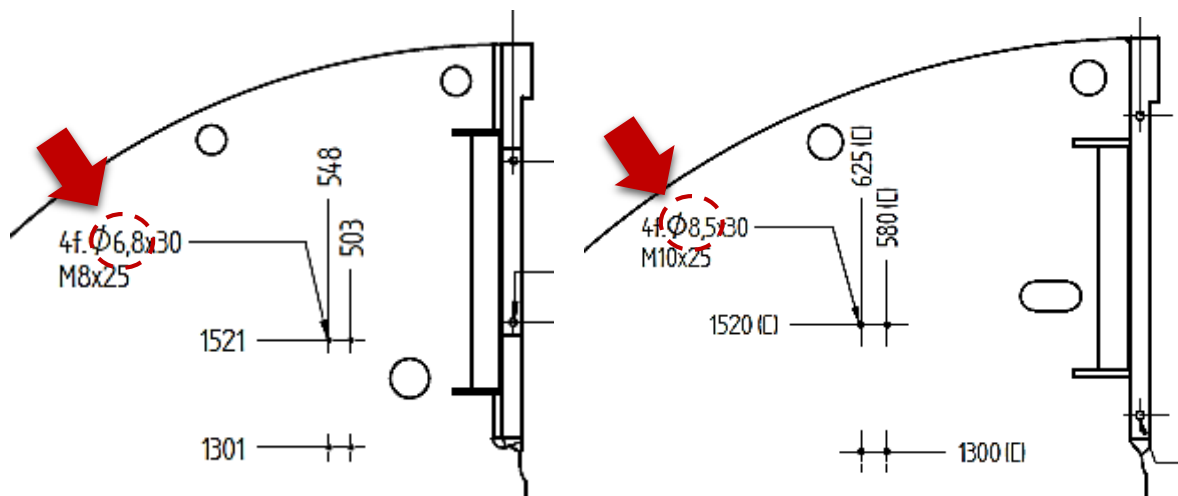


Figura 31 – Desenhos parciais do montante esquerdo da PM13530 (esquerda) e da PM 22030 (direita), com destaque para a interface do pendural.

Este tipo de inconsistência estava a ser prejudicial na operação de montagem, uma vez que tinham que ser feitas alterações ao diâmetro da furação manualmente, de modo a ser possível montar o pendural. Assim sendo, é fundamental uniformizar este tipo de situações, de forma a evitar que se façam operações de maquinagem na montagem das máquinas.

### 3.4.2. Incoerências das interfaces

Na Figura 32, do lado esquerdo, está representado um exemplo de um desenho de uma interface, na qual não foi tido em consideração o componente de ligação, que neste caso é o conjunto de acionamento do eixo y, que contém o fuso e as tubeiras do respetivo redutor. A furação representada por “a” é onde passam as tubeiras do redutor do fuso. Após as montagens das mesmas verificou-se que as cotas e os diâmetros (25 mm) dos furos não eram os adequados para a função que exercem, visto que não permitiam a passagem dos tubos, sendo necessário proceder a modificações manuais para aumentar o seu diâmetro.

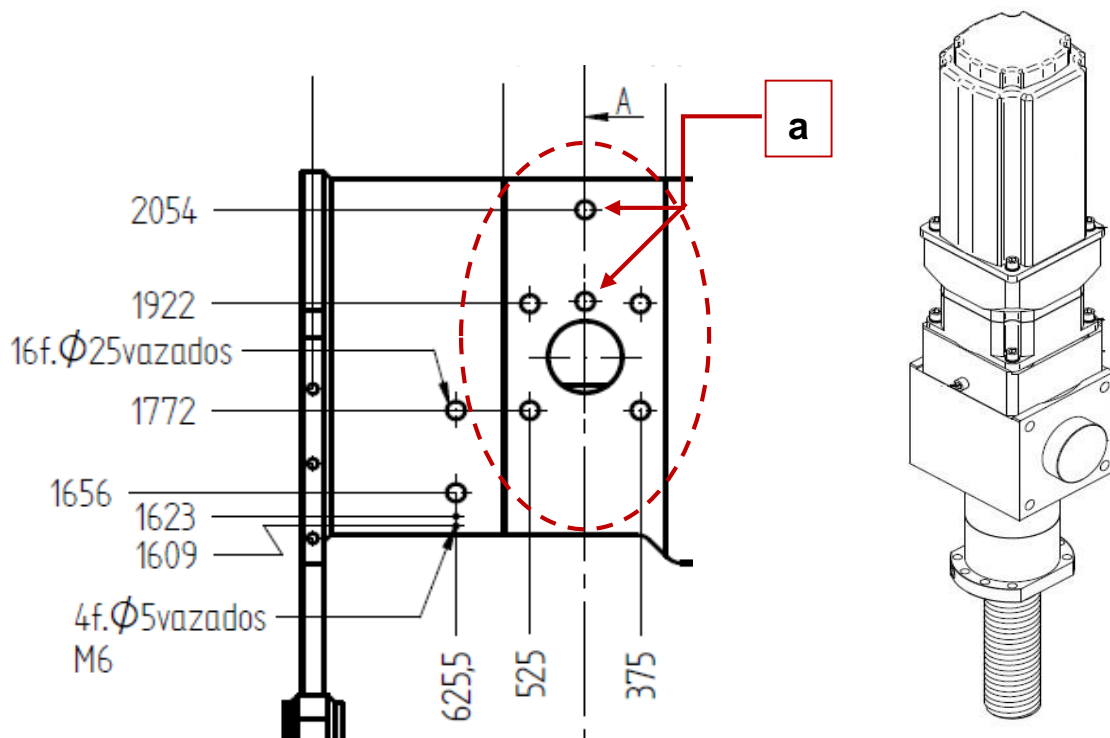


Figura 32- Desenho parcial da vista frontal da BB5020 com destaque para a interface (esquerda) e representação 3D do conjunto de acionamento do eixo y, que contém o fuso (direita).

Na Figura 33 é possível confirmar a incoerência entre as tubeiras do redutor e a sua interface, pois, mesmo após a realização de alterações no seu diâmetro, esta continua a estar desajustada para a passagem das tubeiras.

Mais uma vez, conclui-se que estas alterações realizadas manualmente causam muito transtorno e devem ser evitadas ao máximo. Em consequência, é fundamental ter em consideração a função da interface e as suas restrições, projetando-a de forma a que as suas cotas e dimensões respeitem todas as limitações impostas pelo componente de ligação.



Figura 33- Interface do conjunto de acionamento do eixo y, com destaque para a passagem das tubeiras do redutor na resnetiva furacão.

### 3.4.3. Interfaces em falta

Na Figura 34, é apresentado um exemplo duma furação que se encontra em falta no desenho da estrutura da máquina BB2512, no montante esquerdo. A furação em causa é a interface da resistência de frenagem que é um componente utilizado nas máquinas da gama BB. Uma vez que esta interface não vem já confeccionada da Oxisol, na operação de maquinagem, a sua confeção tem de ser realizada na Adira, na operação de montagem, através do recurso à mão-de-obra, quer para marcação dos furos como para a sua furação.

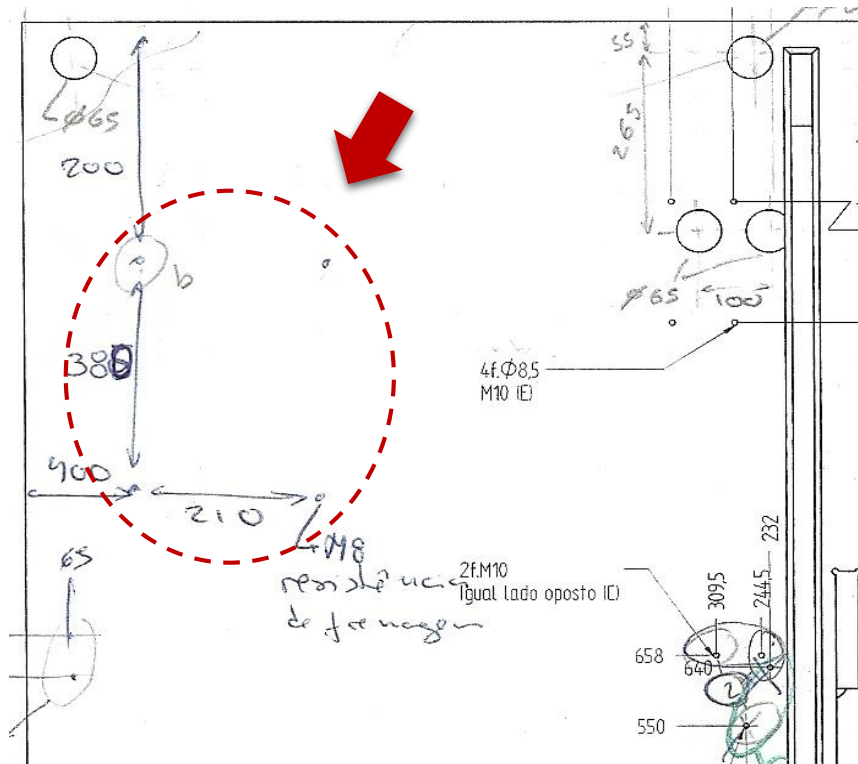


Figura 34- Exemplo de falta de furação no montante esquerdo da máquina BB2512.

Esta interface também está em falta na máquina BB5020, sendo que neste caso existem duas resistências de frenagem, lado a lado.

Ao observar e cronometrar estas operações, foi possível verificar que o tempo perdido com estas falhas, ao executar, por exemplo, a marcação e a furação de quatro furos com diâmetro de 5 mm, é, em média, de quinze minutos. Para além disso, enquanto estão a decorrer estas operações, a montagem da máquina está parada. De momento, o trabalho realizado na operação de montagem está, maioritariamente, relacionado com operações de maquinagem.

Estas perdas de tempo são prejudiciais e desnecessárias, sendo que é imprescindível resolvê-las, garantindo que todas as operações necessárias estão representadas nos desenhos de cada modelo, permitindo, assim, que estas sejam confeccionadas na operação de maquinagem.

Na Figura 35 está representado um desenho 3D da estrutura da máquina BB5020, com a legenda das interfaces existentes na primeira versão analisada. Na Adira sempre que é feita uma alteração num desenho de um modelo específico, é criada uma nova versão associada a uma letra, neste caso está a ser analisada a versão D do modelo em causa.

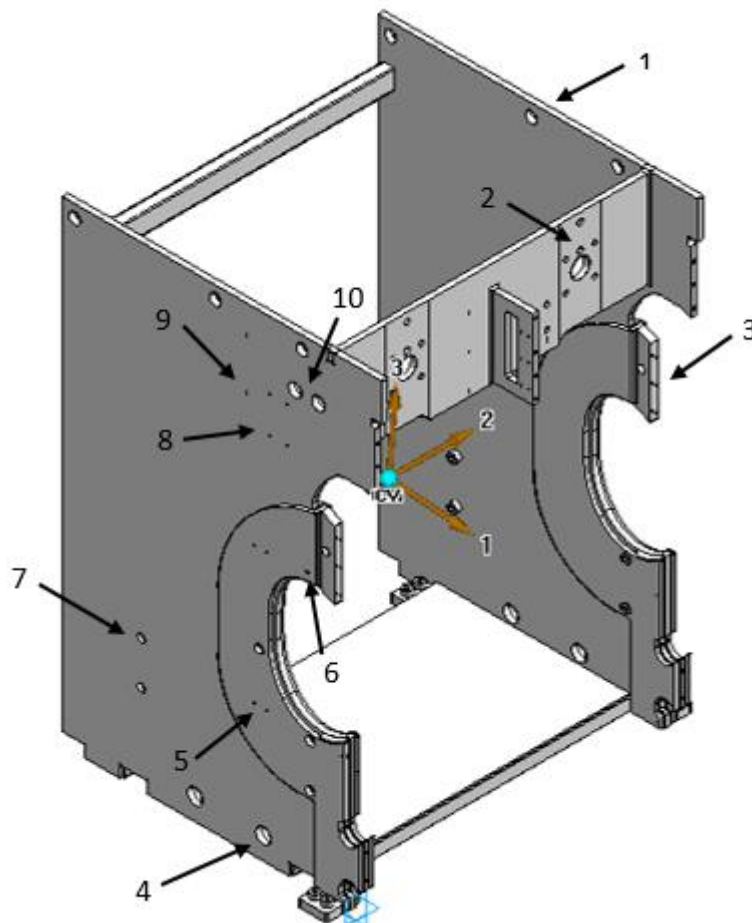


Figura 35- Estrutura da máquina Adira BB5020 com as interfaces existentes – Interface para a elevação da estrutura (1); Interface do conjunto de acionamento do eixo y (2); Interface do patim de guiagem (3); Interface inferior para a passagem de cabos (4); Interface do suporte da guarda lateral (5); Interface dos micros fim de curso (6); Interface do esbarro (7); Interface do pendural (8); Interface das blindagens laterais (9); Interface superior para passagem de cabos (10);

Ao observar o processo de montagem dos vários componentes da máquina, foi possível ver que muitas das interfaces necessárias para montar os componentes não vinham executadas e tinham de ser feitas no momento, manualmente. Confirmou-se que essas interfaces também não vinham representadas nos desenhos CAD das máquinas. No Anexo B é possível observar o desenho técnico 2D deste mesmo modelo (BB5020) na versão apresentada e no Anexo C do modelo BB2512 na versão E (versão analisada inicialmente).

Portanto, na estrutura apresentada na Figura 35 foi identificada a falta de muitas interfaces que deviam estar desenhadas e que têm como função a ligação dos componentes apresentados na Figura 36.



Figura 36 – Exemplos de componentes cujas interfaces não estavam definidas.

O levantamento das interfaces dos modelos analisados foi registado em tabelas com recurso ao *Microsoft Excel*, de modo a facilitar a análise das diferenças e falhas encontradas em cada máquina, em cada gama e na família das quinadoras. De início, foi comparada cada interface existente entre cada modelo dentro de cada gama e, de seguida, foi feita a comparação entre as várias gamas. Assim, foi possível organizar as interfaces de acordo com a sua função e com as suas características (cotas e dimensões) em cada modelo, assinalando as incoerências e erros detetados, de forma a poder arranjar soluções para normalizar as interfaces. No Anexo D apresenta-se a tabela com o levantamento das interfaces realizada para os modelos BB2512 e BB5020.

Desta análise e respectivo levantamento de problemas resulta claro que, ao projetar as interfaces na estrutura de uma máquina, é preciso desenvolver um modo de inserir cada furação existente no modelo pretendido de uma forma mais automática e precisa, que defina a função de cada interface, assim como as respectivas restrições – dimensões, cotas, posicionamento – de modo a que cada uma tenha as suas características bem definidas e estandardizadas.

## 4. Proposta de solução

No capítulo 4 são descritas as propostas de soluções elaboradas para os problemas apresentados no capítulo 3.

Com a ajuda das tabelas realizadas em Excel, foi possível analisar, comparar e definir todas as interfaces e verificar quais as alterações que deviam ser feitas de modo a existir um padrão comum a todos os modelos. Para este efeito, foi necessário identificar as funções de cada interface e as restrições a que estão sujeitas face aos componentes que vão ser ligados, à passagem de cabos e à relação com as outras interfaces.

De modo a conseguir realizar a normalização das interfaces procedeu-se à criação, alteração e desenvolvimento de cada uma delas de acordo com *standards* definidos relativamente às suas dimensões e cotas.

### 4.1. Criação de interfaces

Como já foi dito, é essencial que os desenhos de todos os modelos contenham todas as interfaces - furações – representadas, de modo a que venham já confeccionadas da operação de maquinagem e não seja necessário estar a desperdiçar tempo a realizá-las manualmente.

Portanto, após a análise das interfaces que estavam em falta e das suas funções, foi necessário perceber quais eram as suas restrições - dimensões e cotas adequadas - para as novas furações, de acordo com as dimensões do componente que lhe está associado. Para além dessas restrições, também é necessário ter em conta as distâncias entre os outros componentes da máquina, o comprimento dos cabos da componente (se esta os tiver) e por onde é que estes passam. Assim, é preciso analisar bem as hipóteses possíveis e determinar quais as que são a melhor opção em termos de espaço, interferências com outras interfaces ou componentes e desperdício de material.

#### Interface da resistência de frenagem

No capítulo 3 já tinha sido referido que a interface da resistência de frenagem estava em falta na máquina BB2512 e na BB5020 (neste caso, existem duas resistências de frenagem). Então, foi necessário criar a furação em causa tendo em atenção que esta tem de coincidir com as cotas dos furos da resistência de frenagem. Na Figura 37 apresenta-se um exemplo de uma resistência de frenagem aplicada na estrutura de uma máquina BB2512, com destaque para os respetivos pontos de ligação de um dos lados do componente.



Figura 37- Resistência de frenagem aplicada na estrutura da máquina

Como já foi referido no capítulo 2, segundo Schuh, a especificação de interfaces passa por três etapas que foram respeitadas e vão ser apresentadas de seguida.

#### 4.1.1. Criação de um ficheiro CAD 3D

De modo a definir a geometria e as características da interface, esta foi desenhada numa estrutura base, recorrendo ao *software* Solid Edge.

Na Figura 38 é possível observar a interface criada definida pelas suas cotas internas e pelas cotas de posição. As cotas internas estão representadas a azul por estarem bloqueadas em relação ao montante da máquina e as cotas de posição estão representadas a preto, significando que estão desbloqueadas. Para além da definição das cotas, foram também estabelecidas as dimensões dos furos (diâmetro e profundidade).

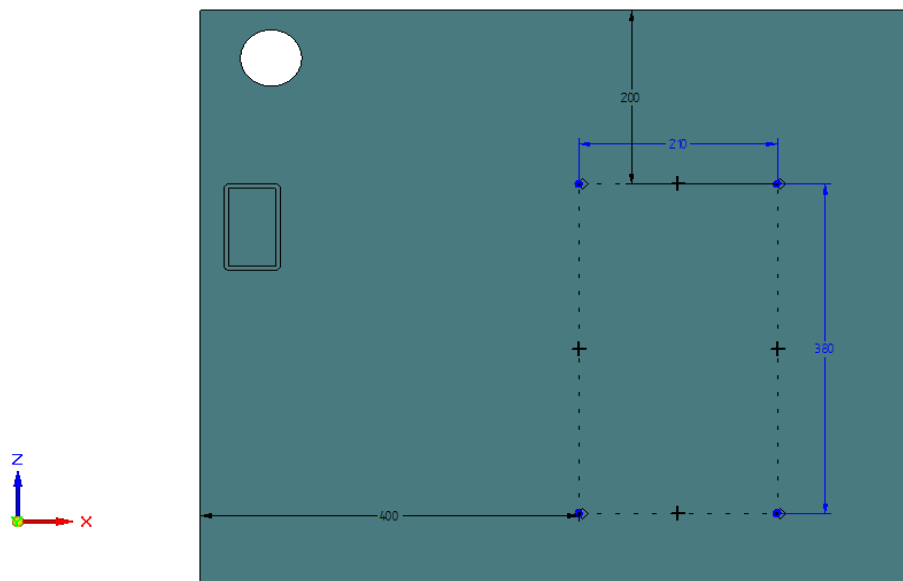


Figura 38- Exemplo da interface criada em Solid Edge para a resistência de frenagem

#### 4.1.2. Realização de um desenho com a cotagem

O segundo passo consistiu em passar o desenho em 3D para um desenho em 2D com as dimensões bem definidas. Na Figura 39 observa-se o desenho criado para a interface da resistência de frenagem definida pelas suas cotas internas (210 mm de largura e 380 mm de altura), pela cota de posição vertical relativa à extremidade superior do montante (200 mm) e pelas suas dimensões (quatro furos de diâmetro de 6,8 mm). A cota de posição horizontal não é definida, uma vez que esta é variável consoante o modelo de quinadora em que a interface é aplicada.

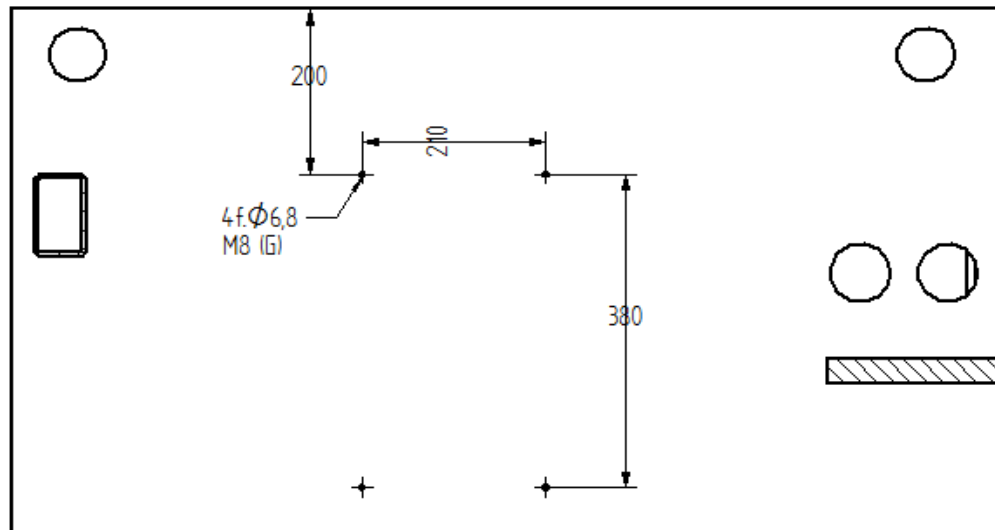


Figura 39 – Desenho com as dimensões da interface da resistência de frenagem.

A Figura 40 apresenta um exemplo da interface da resistência de frenagem inserida na estrutura da máquina BB2512 através de um desenho parcial da vista lateral do montante esquerdo. A interface está completamente definida, relativamente ao número de furos (quatro), às dimensões ( $\text{Ø}6,8$  M8) e às cotas (relativas à origem do sistema de eixos localizado na face superior do montante fixo). Para poder criar novas interfaces nos desenhos ou fazer qualquer tipo de alteração nas estruturas das máquinas na Adira é necessário criar novas versões e identificar as alterações feitas com a letra da versão correspondente. Neste caso a criação da furação da resistência de frenagem representa uma alteração no desenho da estrutura da máquina, sendo que está identificada pela letra “F” a seguir às especificações das suas dimensões, que identifica a nova versão.

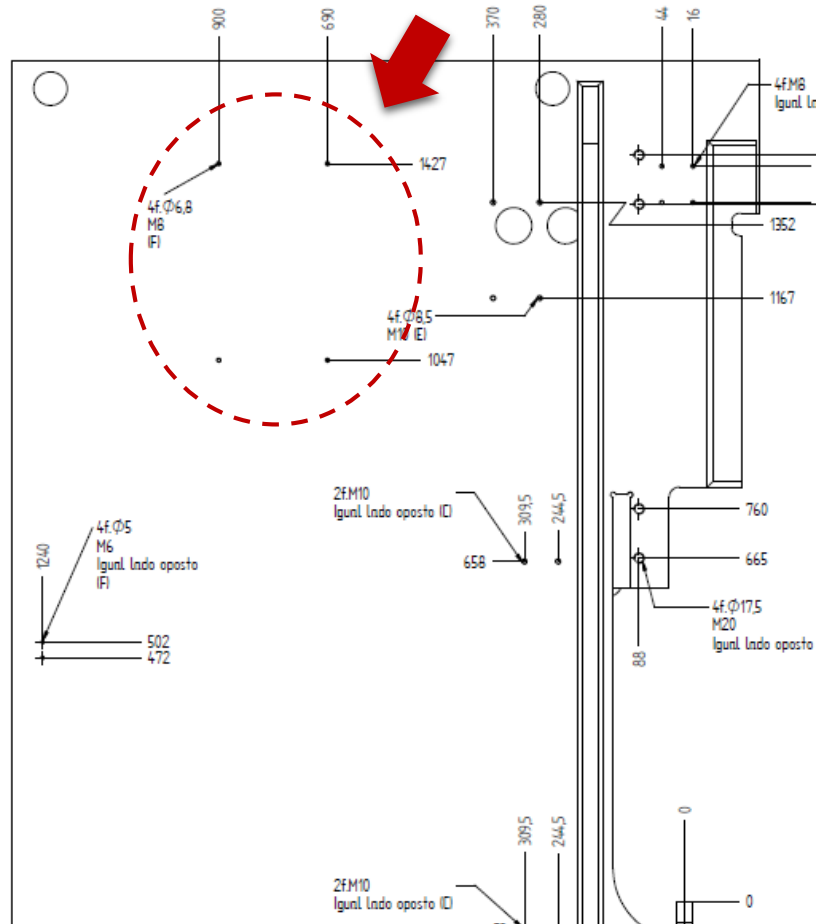


Figura 40- Desenho parcial da vista lateral do montante direito da máquina BB2512 (versão (F)).

#### 4.1.3. Elaboração de um texto com a descrição da interface e respetivas figuras – Criação da norma

De modo a registar as dimensões estandardizadas definidas para cada interface, foram criadas normas internas que contêm a descrição e a função da interface, estabelecendo as especificações que devem ser cumpridas ao incorporá-la na estrutura de uma quinadora. Para além disso, contêm também uma figura da interface com as respetivas dimensões.

A norma criada para a interface da resistência de frenagem encontra-se disponível no Anexo E.

Para além da criação da interface referida foram criadas outras interfaces que, como foi referido no capítulo 3, não estavam definidas e que têm como função a ligação dos seguintes componentes:

- Quadro elétrico;
- Células laterais;
- Suporte da esteira do *laser safe*;
- Cilindro do *kit* de lubrificação;
- Suporte da esteira do esbarro *Unimec*;
- Nivelção do patim de guiagem

Para além da criação de interfaces de origem, também foram adicionadas a alguns modelos furações que já existiam noutros mas que estavam em falta nesses por desatualização das versões existentes.

## 4.2. Alteração de interfaces

### 4.2.1. Redução do comprimento de cabos

#### Alteração da interface da resistência de frenagem

Após a criação da interface da resistência de frenagem nos modelos BB2512 e BB5020, e depois de esta furação ter sido executada na Oxisol, foi possível perceber que se estavam a usar mais 2 m de cabos eléctricos do que se a interface fosse colocada no montante direito da máquina. Como é essencial eliminar todo o tipo de desperdício, foi decidido alterar a furação para o montante direito, de modo a poupar esses 2 m de cabo. Foi criada, então, uma nova versão (G) para o desenho da estrutura da máquina a qual teve como resultado a furação apresentada na Figura 41.

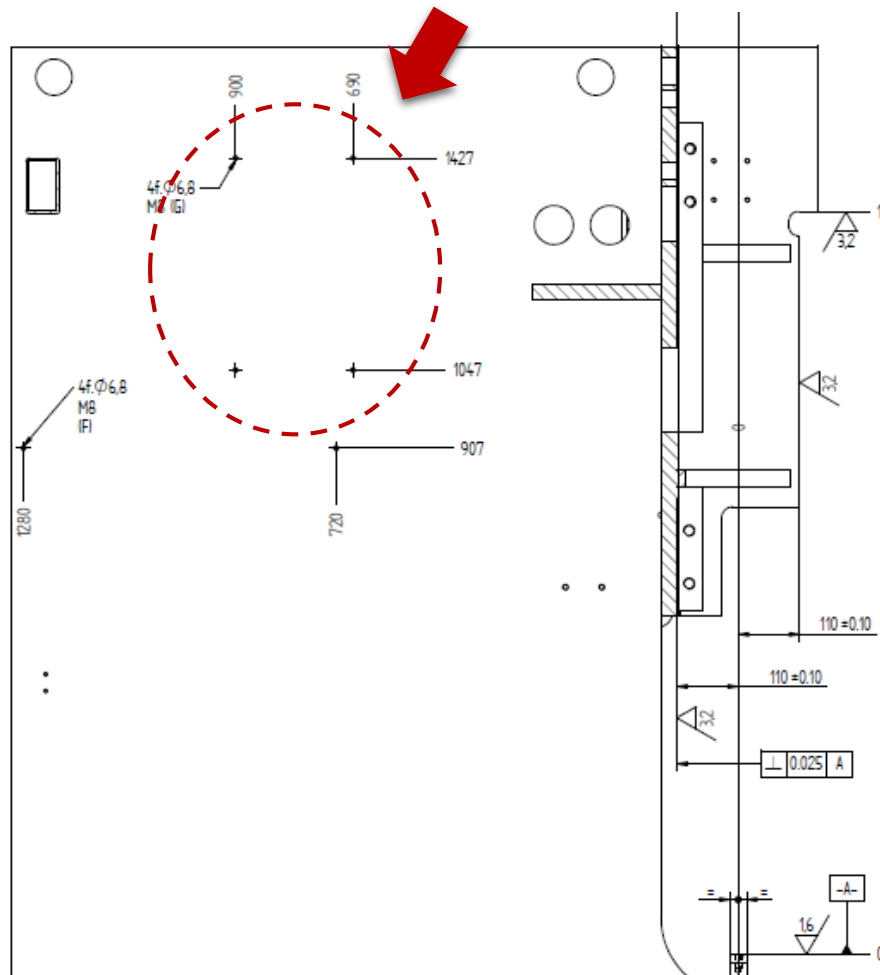


Figura 41- Desenho parcial da vista lateral do montante direito da máquina BB2512 (versão (G)).

#### 4.2.2. Correção de incoerências

##### Alteração da interface das tubeiras do redutor do fuso

Como já tinha sido referido no ponto 3.4.2., a interface das tubeiras do redutor do fuso, que faz parte do conjunto de acionamento do eixo y, não estava coerente com as dimensões e cotas das tubeiras. Por isso, foi preciso alterar os diâmetros e as cotas da furação correspondente. Na Figura 42 apresenta-se um desenho parcial da vista frontal da estrutura da máquina BB5020 (versão D) com a solução proposta para a interface das tubeiras, na qual se alterou a cota do furo inferior de 1922 para 1925 mm tendo os diâmetros dos dois furos passado de 25 para 30 mm. Deste modo, foi facilitada a conexão do componente com a estrutura, sem ser necessário proceder a alterações manuais e a esforços desnecessários.

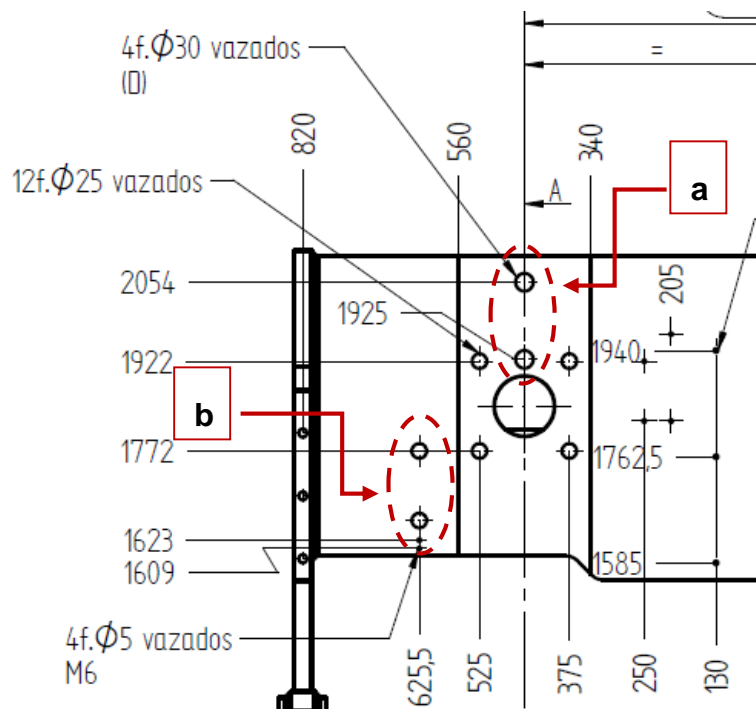


Figura 42- Desenho parcial da vista frontal da estrutura da máquina BB5020 (versão D) com destaque para as interfaces das tubeiras do redutor (a) e do lubrificante (b).

#### 4.2.3. Redução de operações de maquinagem

##### Alteração da interface das tubeiras do lubrificante do fuso

A interface das tubeiras do lubrificante do fuso era composta por dois furos que faziam a tubeira passar pela frente da estrutura da máquina (furação apresentada na Figura 42 (b)) desnecessariamente, uma vez que esta tubeira só tem de passar por trás da estrutura. Esta furação foi simplificada através da criação de um único furo na travessa superior da estrutura. Com esta nova furação reduz-se o tempo gasto a executá-la pois foram substituídos dois furos por um e, no caso da BB5020, quatro furos por dois (Figura 43).

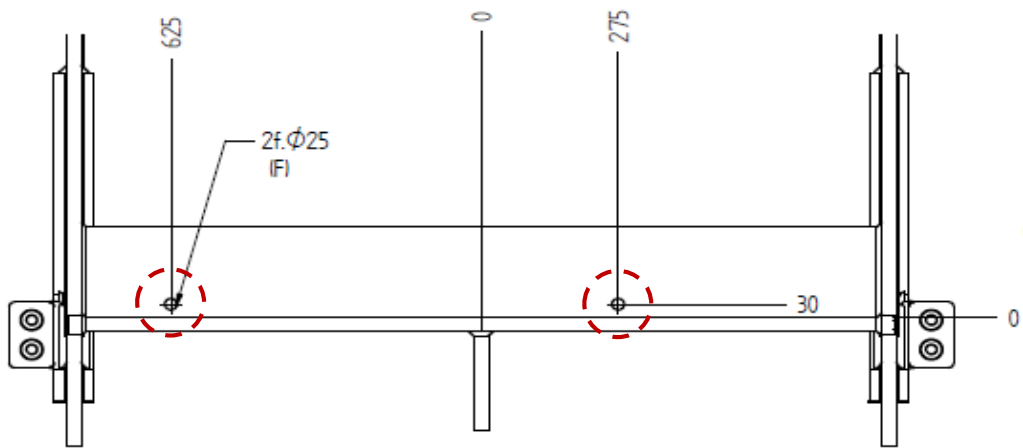


Figura 43- Desenho parcial da vista superior da estrutura da máquina BB5020 (versão F) com destaque para as novas interfaces das tubeiras do lubrificante do fuso.

Na Figura 44 podem-se observar as alterações feitas na estrutura da máquina BB 2512 nas interfaces das tubeiras do redutor (a), na qual foi aumentado o diâmetro, e da tubeira do lubrificante (b), na qual foi feita a substituição de dois furos por um furo.

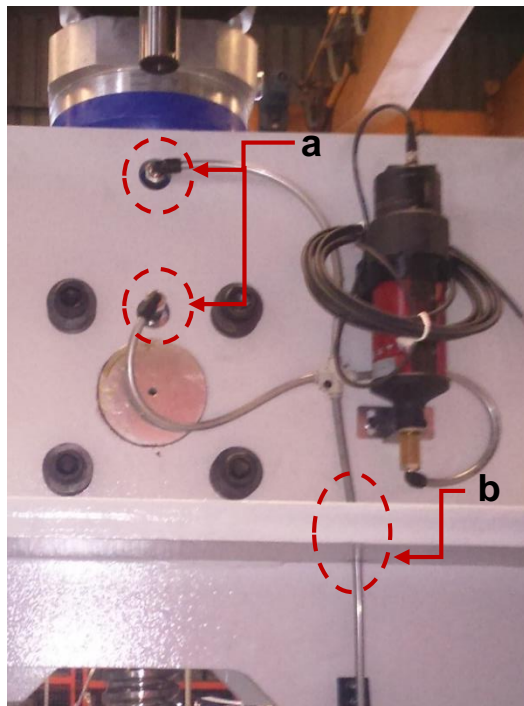


Figura 44- Interface das tubeiras do redutor (a) e da tubeira do lubrificante (b).

#### 4.2.4. Correção de operações considerando limitações de maquinagem

Como já foi mencionado no capítulo 3, as máquinas que realizam as operações de maquinagem têm limitações nos cursos de maquinagem que devem ser tidos em consideração quando se projetam interfaces.

Na Figura 45 é possível observar o exemplo da interface da resistência de frenagem aplicada na estrutura da máquina BB5020. Na situação inicial, a cota mais afastada da origem de eixos tinha um valor de 1365 mm. Uma vez que a maquinagem deste modelo é realizada nas máquinas 210 ou 215 e o curso destas, segundo y, é de 1250 mm, esta operação não pode ser realizada pois é superior ao limite do curso das máquinas. Assim sendo, foi alterada a posição desta interface de modo a que já fosse possível maquinar a furação com a cota mais afastada, passando de 1365 mm para 1195 mm, o que está dentro do limite do curso das máquinas.

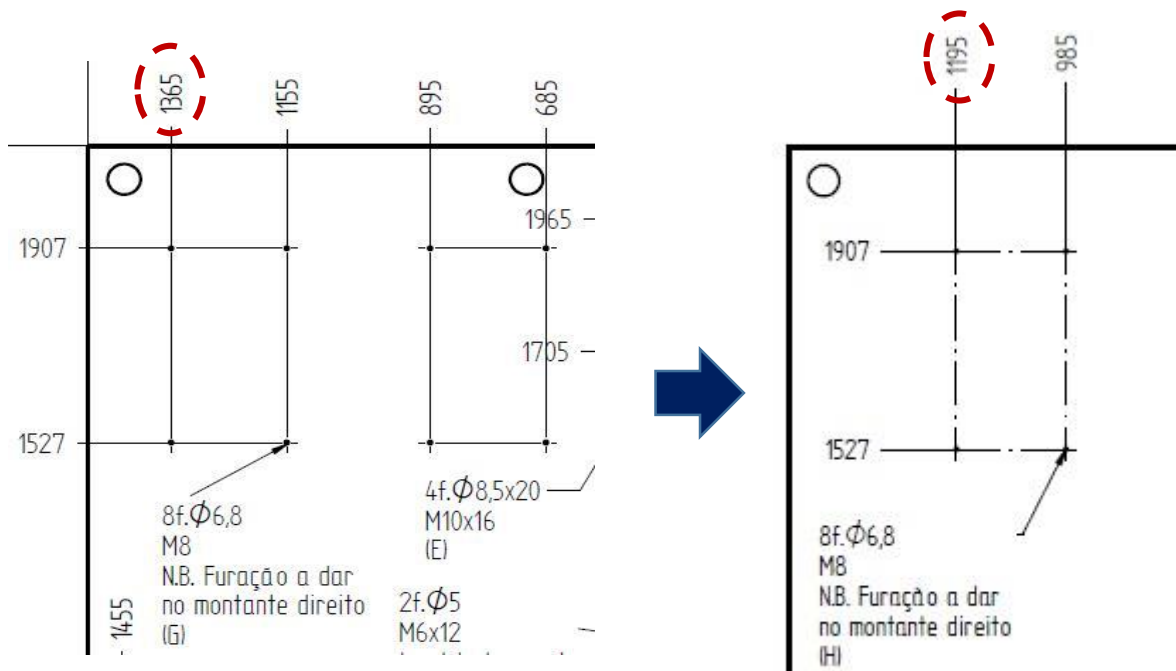


Figura 45- Exemplo da alteração das cotas de posição da interface da resistência de frenagem na estrutura da máquina BB5020.

### 4.3. Definição de dimensões técnicas

A normalização de dimensões técnicas mostrou-se necessária, quer na operação de maquinagem na fixação das estruturas de modo a que os tempos de preparação fossem reduzidos, quer na operação de montagem de forma a que os comprimentos dos cabos utilizados fosse uniforme.

Para os dois casos referidos foi proposta uma solução relativamente à interface de fixação das estruturas e de passagem de cabos, referida no capítulo 3.

Como já foi dito, as máquinas que realizam as operações de maquinagem nos modelos estudados são as 210 e 215, para o caso das gamas Bluebender e PF, e a 53, para o caso das gamas PM e PA. Assim sendo, foi decidido uniformizar a interface referida nos modelos das gamas Bluebender e PF, uma vez que estas são maquinadas nas mesmas máquinas e nos modelos das gamas PM e PA, cujas estruturas são iguais.

Na Figura 46 encontra-se a proposta de solução para as gamas Bluebender e PF, na qual a dimensão técnica normalizada para as duas gamas é de 455 mm, distância à qual estarão os dois grampos que irão fixar os dois modelos. Como alguns dos modelos da gama PF têm dimensões maiores do que os da gama Bluebender, para além dos dois grampos distanciados de 455 mm, existirá um terceiro grampo que dista do segundo 175 mm e que apenas será utilizado na gama PF. Também foi definida a cota vertical em relação à extremidade inferior do montante com 100 mm, de modo a que não seja necessário colocar calços diferentes para nivelar os grampos. Portanto, os três grampos mencionados estarão sempre nas posições definidas e só terão de ser deslocados ao longo dos rasgos da plataforma de modo a serem ajustados às diferentes larguras dos modelos.

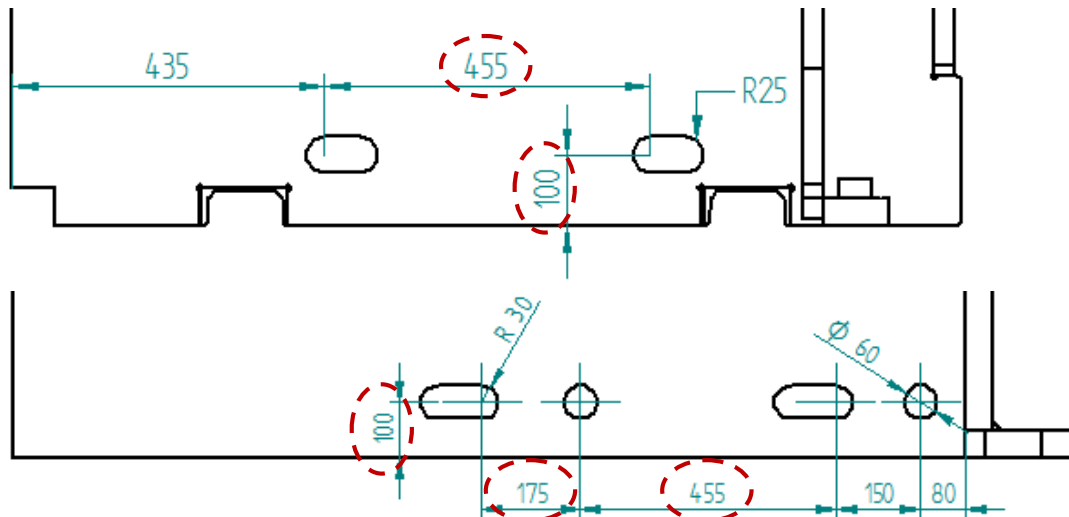


Figura 46 - Dimensões técnicas da interface de fixação para as gamas Bluebender (cima) e PF (baixo).

Na Figura 47 está apresentada a proposta de solução para a gama PM que, como já foi referido, tem estrutura igual à PA. Para esta gama serão utilizados unicamente dois grampos, sendo que um irá fixar num dos rasgos mais perto da extremidade posterior da estrutura e o outro na esquina entre o montante e o avental fixo. Os grampos devem ser fixados o mais junto possível das extremidades da estrutura para evitar as vibrações que podem ocorrer ao maquinar. A cota vertical definida para esta gama será de 115 mm.

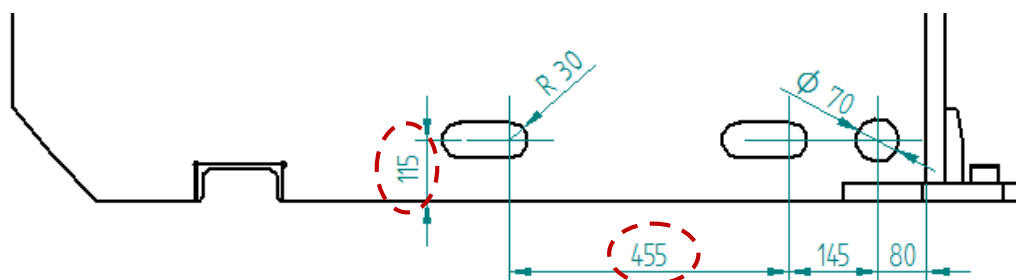


Figura 47 - Dimensões técnicas da interface de fixação para a gama PM.

Relativamente à definição de distâncias técnicas para uniformizar o comprimento de cabos elétricos utilizados, foi estudado o caso do quadro elétrico e da distância da sua interface às interfaces de passagem de cabos. Na Figura 48 pode-se observar a proposta de solução para este caso e a forma como foram definidas as distâncias referidas para os modelos BB2512 e BB5020. Verifica-se que foram normalizadas a cota vertical dos furos superiores do quadro

elétrico à interface superior de passagem de cabos (a), as cotas vertical (b) e horizontal (c) dos furos inferiores à interface inferior. A cota horizontal dos furos superiores do quadro elétrico à interface superior de passagem de cabos não foi normalizada uma vez que as larguras dos montantes são distintas e, conseqüentemente, a chapa de suporte dos cabos está numa posição diferente. Como a interface de passagem dos cabos está relacionada com a posição dessa chapa, a sua posição não pode ser alterada. No Anexo F encontra-se a norma criada para a interface do quadro elétrico e as suas dimensões técnicas para a gama BB.

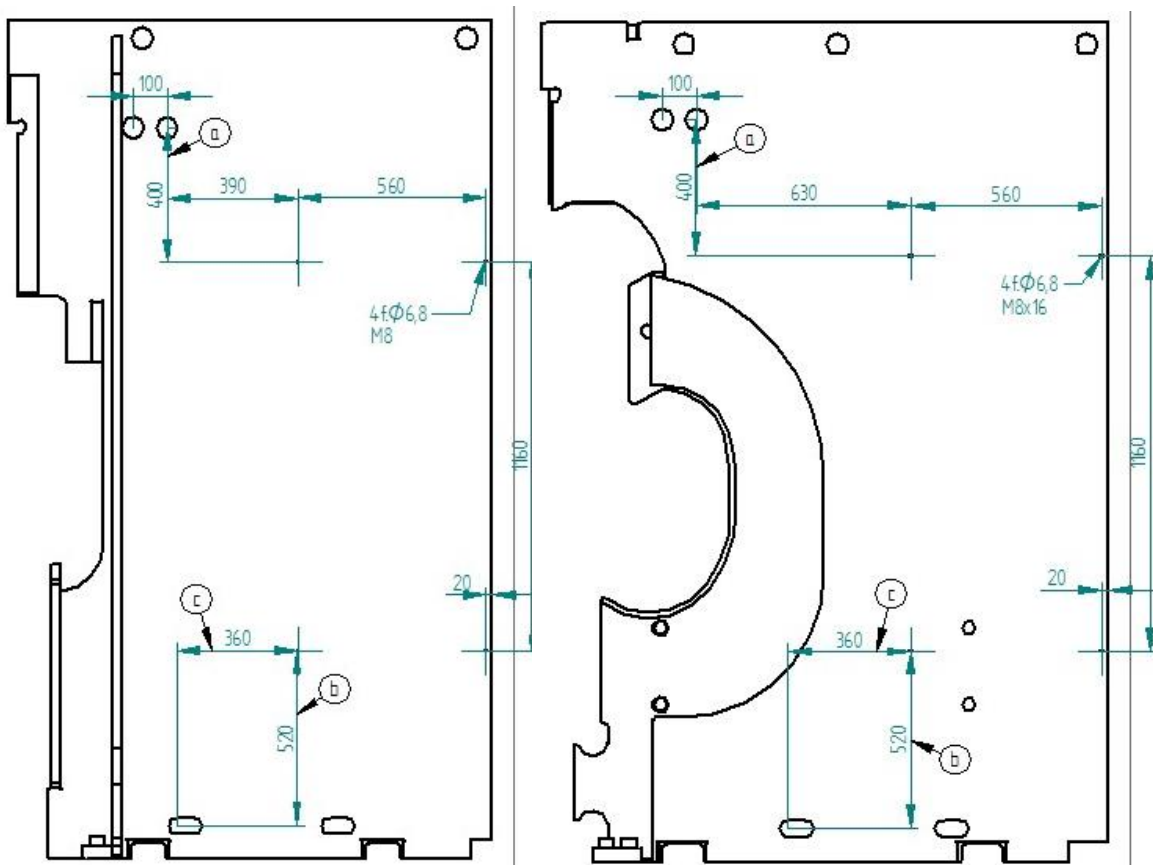


Figura 48 – Distâncias técnicas para o conjunto do quadro elétrico nos modelos BB2512 (esquerda) e BB5020 (direita).

Na Figura 49 apresenta-se o desenho em CAD da estrutura da máquina BB5020 com destaque para as interfaces criadas neste projeto e já realizadas na operação de maquinagem deste modelo, algumas referidas anteriormente, sendo esta a versão mais recente (Versão H). No Anexo G é possível observar o desenho técnico em 2D elaborado para este modelo, o qual é utilizado para programar a execução das furações na operação de maquinagem. No Anexo H está também a última versão criada do desenho 2D da máquina BB2512, com as novas alterações.

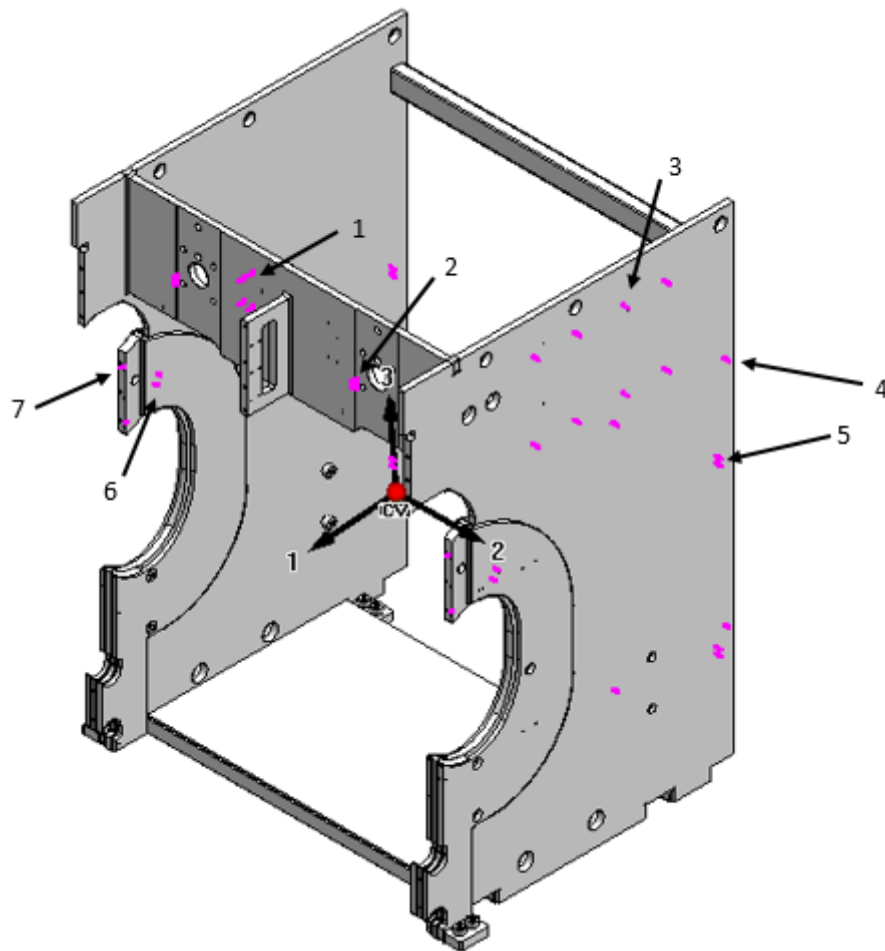


Figura 49- Estrutura da máquina ADIRA BB5020 com as novas interfaces. Interface do cilindro do kit de lubrificação – 4 furos Ø5, M6 (1); Interface da tubeira do lubrificante – 1 furo Ø25 (2) ; Interface da resistência de frenagem – 4 furos Ø6,8, M8 (3); Interface do quadro elétrico – 4 furos Ø6,8, M8x16 (4); Interface da célula posterior – 4 furos Ø5, M6x25 (5); Interface dos micros fim de curso – 2 furos Ø5, M6x12 (6); Interface da nivelção do patim de guiagem – 2 furos Ø4,215, M5x10 (7).

#### 4.4. Parametrização de ferramentas de desenho

De modo a otimizar e facilitar o projeto das estruturas das máquinas, criando ou alterando operações, foi concebido um método para inserir todas as interfaces normalizadas nas estruturas pretendidas de uma forma mais rápida e automática, definindo restrições geométricas.

De início, foi criado um *template* (modelo) geral de uma estrutura da gama Bluebender com recurso ao software CAD 3D que, neste caso, é o *Solid Edge*. Este *template* é um conjunto (*assembly*) das várias partes que constituem a estrutura base da máquina (montantes, aventais, vigas, perfis, sapatas, entre outros) onde foram inseridas as várias interfaces existentes nesta gama com as dimensões e cotas de acordo com os *standards* definidos. A partir das interfaces projetadas que, neste caso, são maioritariamente furos (criados com a funcionalidade *Hole*) e de todas as dimensões definidas, quer para as interfaces, quer para a cada parte da estrutura, foi elaborada uma tabela com as variáveis (utilizando a funcionalidade *Variable Table*) que distingue as dimensões da estrutura de cada modelo e o posicionamento de cada interface no respetivo modelo. Após a criação desta tabela, foram

definidas famílias de elementos (recorrendo à funcionalidade *Family of Parts*), sendo que cada família corresponde a um modelo e, para cada uma, distinguiram-se as dimensões e cotas das partes da estrutura e das suas interfaces.

De seguida, foram criados conjuntos alternativos (com recurso à funcionalidade *Alternate Assemblies*), correspondendo cada um ao conjunto da estrutura do modelo BB2512 e BB5020 (Figura 50). Desta forma, é possível a escolha do modelo desejado e a visualização da estrutura com as dimensões que lhe estão associadas e com as interfaces que a constituem definidas relativamente às cotas e dimensões.

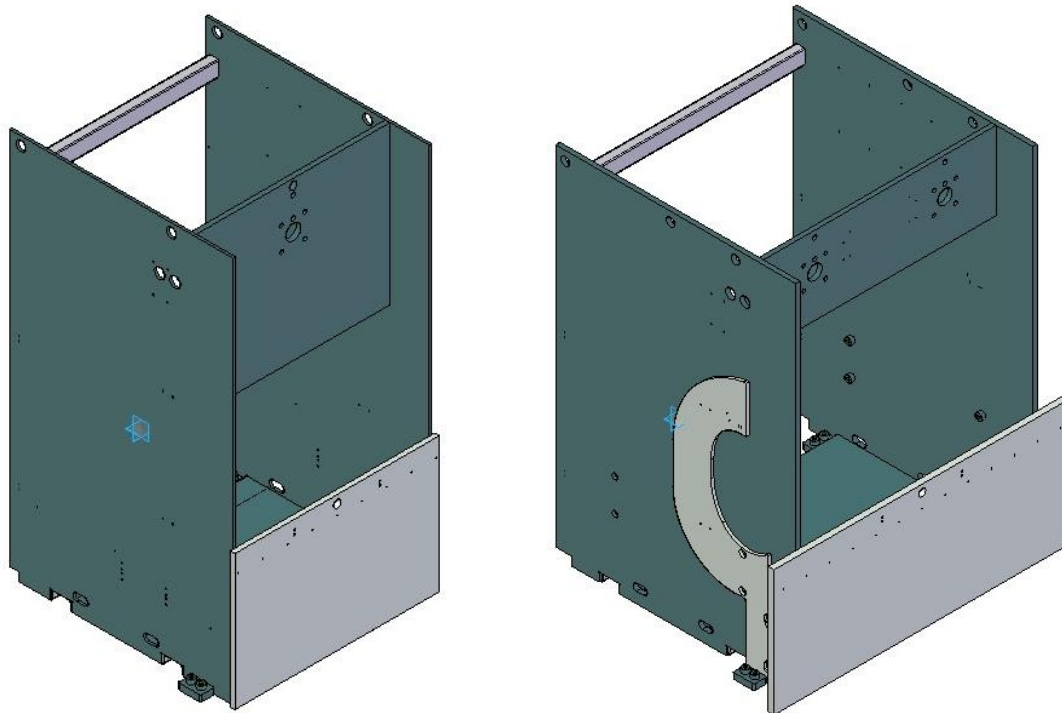


Figura 50 - Modelos criados para as máquinas BB2512 (esquerda) e BB5020 (direita).

A criação deste *template* foi de grande utilidade para o desenvolvimento do resto do projeto, pois permitiu ter uma noção mais clara das diferenças que existiam entre cada modelo e as suas interfaces, facilitando a sua normalização.

No sentido de assegurar a possibilidade de utilizar cada interface normalizada na criação ou alteração de qualquer modelo, é necessário que haja uma espécie de biblioteca constituída por todas as interfaces definidas de acordo com a sua função e a variante existente.

Para esse efeito, cada interface já definida foi guardada como elemento único com as respetivas restrições e cotas funcionais. As cotas da própria interface estão bloqueadas, uma vez que se devem manter constantes em todos os modelos e só podem ser alteradas se forem desbloqueadas. Já as cotas da posição da interface relativamente à estrutura da máquina são adaptáveis pois podem variar de modelo para modelo, dado que em cada um as dimensões da estrutura são distintas.

Na Figura 51 é possível observar o exemplo da interface do pendural criada no *Solid Edge* e aplicada nos modelos BB2512 e BB5020. A interface está definida pelas suas cotas internas, representadas a azul por estarem bloqueadas, e pelas cotas de posição em relação ao montante da máquina representadas a preto, significando que estão desbloqueadas e, como se pode observar, estas foram adaptadas consoante o modelo.

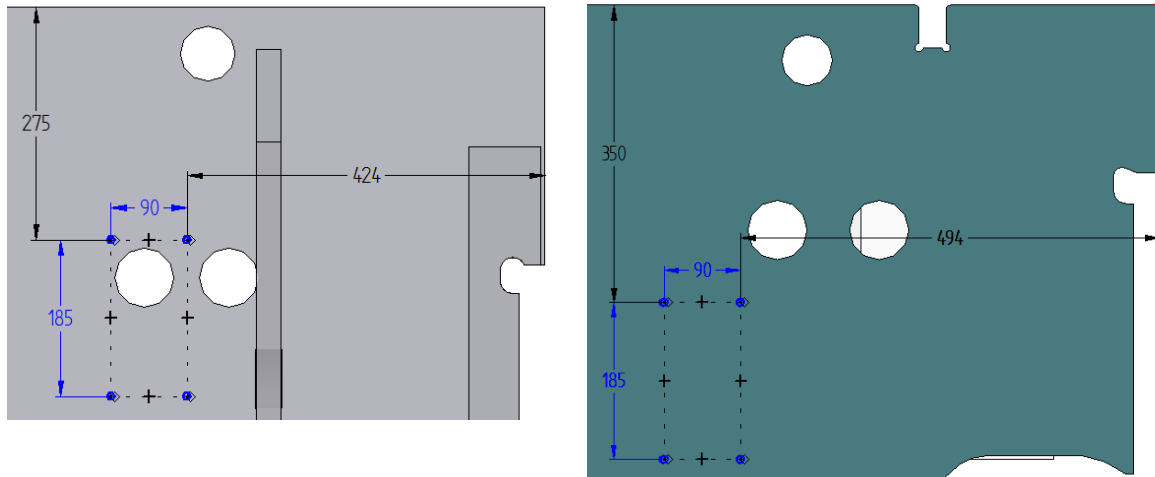


Figura 51 – Interface do pendural criada no *Solid Edge* e aplicada nos modelos BB2512 (esquerda) e BB5020 (direita).

Foi criada, então, uma pasta com todas as interfaces normalizadas (Figura 52), na qual estas estão divididas de acordo com as suas aplicações (montante direito, montante esquerdo, avental fixo, avental móvel, etc.). Esta base de dados foi elaborada com recurso à funcionalidade *Feature Library* do *Solid Edge*. Cada interface foi guardada como elemento à parte com as respetivas restrições de cotas funcionais e com as dimensões definidas. Desta forma, permite-se a sua utilização na criação de qualquer estrutura na qual seja necessária a sua integração de uma forma mais rápida e simplificada.



Figura 52- Base de dados definida para as interfaces normalizadas.

No Anexo I encontra-se um exemplo da aplicação deste método utilizando o *Solid Edge* com os vários passos a executar, no caso da aplicação da interface do pendural numa determinada estrutura base. No Anexo J está uma lista com a descrição de cada funcionalidade mencionada.

#### 4.5. Definição do número de artigo de uma interface

Cada interface, para além de estar identificada pela sua função (nome) e pela sua aplicação, também deve ser identificada por um número de artigo (código). As propostas de cada código foram definidas de acordo com as variantes, a função e a aplicação de cada interface. Na Figura 53 está o exemplo do código proposto para a interface do quadro elétrico pequeno. Na primeira parcela a interface irá ser sempre representada pelas letras “IF”, abreviatura de interface, e por um número que irá definir a família em que se aplica a interface, sendo que o número “1” corresponderá à família das quinadoras. Na segunda parcela existirão quatro números que identificam a aplicação da interface: 0001 corresponde ao montante direito, 0002 ao montante esquerdo, 0003 ao avental fixo, continuando da mesma forma para as outras aplicações. Na terceira parcela é definida a variante da interface: no exemplo do quadro elétrico existem as três variantes “pequeno”, “médio” ou “grande” que são definidas pelas combinações “00”, “01” ou “02”, respetivamente. A quarta e última parcela corresponde à função da interface: “0001” está associado ao quadro elétrico, “0002” ao pendural e consecutivamente.

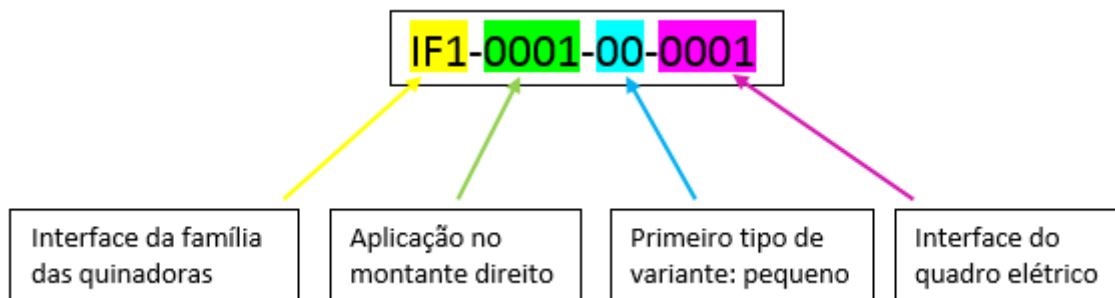


Figura 53 - Exemplo do código proposto para a interface do quadro elétrico pequeno.

No Anexo K pode-se ver a tabela realizada em *Excel* com algumas das interfaces criadas e já existentes, e as respetivas variantes, funções e códigos.

#### 4.6. Análise de ganhos

Devido a motivos de confidencialidade, não serão apresentados os custos das operações, somente os ganhos obtidos.

##### 4.6.1. Ganhos na operação de maquinagem

Com o objetivo de calcular os custos das operações realizadas nos centros de maquinagem da Oxisol, foi feita uma análise aos custos de uma operação de maquinagem equivalente a uma furação de 4 furos com profundidade de 30 mm, a uma velocidade de 50 mm/min. Esta operação tem uma duração aproximada de 2,33 minutos e os custos analisados foram os dos centros de maquinagem utilizados nas operações de maquinagem das gamas estudadas (máquinas 53, 210 e 215). Os custos totais da operação de maquinagem são o resultado da soma dos custos gerais, dos custos de utilização da máquina e dos custos de mão-de-obra.

De seguida, foi realizada uma análise aos custos envolvidos na secção de montagem para realizar uma operação de 15 minutos, o que equivale a uma mesma furação de 4 furos, considerando os custos totais como o resultado da soma dos custos gerais e de mão-de-obra.

Na Tabela 2 é feita uma análise dos ganhos percentuais gerados através da substituição de operações realizadas manualmente por operações efetuadas nos centros de maquinagem. Os valores dos ganhos foram calculados, então, através da diferença entre o custo de uma operação de furação (4 furos) na secção de montagem e o custo da mesma operação na secção de maquinagem, com recurso às máquinas 53, 210 ou 215. É possível verificar que os ganhos são bastante elevados, destacando-se os ganhos da mão-de-obra em relação à utilização da Máquina 53, uma vez que esta máquina é a que apresenta os custos menores por ser menos recente e ter cursos menores do que as outras. Para além disso, as operações de montagem estão paradas enquanto estas estão a decorrer, confirmando-se, uma vez mais, a importância de eliminar o uso de mão-de-obra para realizar este tipo de operações.

Tabela 2- Análise dos ganhos obtidos no caso de as operações serem realizadas na secção de maquinagem.

<b>Mão-de-obra vs.</b>	<b>Ganhos (%)</b>
<b>Máquina 53</b>	62,13
<b>Máquina 210</b>	59,51
<b>Máquina 215</b>	24,60

#### **4.6.2. Ganhos na operação de fixação das estruturas**

De modo a calcular os custos da operação de fixação das estruturas na plataforma de maquinagem, foram analisados os custos totais da utilização de cada centro de maquinagem (53, 210 e 215) na maquinagem das gamas estudadas, antes da proposta de solução para a standardização da fixação das estruturas na plataforma de maquinagem. Os custos totais da operação de fixação são considerados equivalentes aos custos totais da operação de maquinagem, uma vez que a operação de fixação requer a ocupação das mesmas máquinas e mão-de-obra que a operação de maquinagem.

Os custos da operação de fixação foram calculados relativamente aos custos totais e considerando o tempo de fixação de, aproximado, 30 minutos, o qual abrange as operações de elevar a máquina e transportá-la com a ponte rolante, coloca-la na plataforma e fixá-la, ajustando os grampos nos locais apropriados.

Seguiu-se a análise dos custos totais da operação de fixação das estruturas correspondente a cada centro de maquinagem (53, 210 e 215) depois da proposta de solução, ou seja, com os grampos de fixação já no sítio certo. Esta solução, reduziria o tempo da operação de fixação em, aproximadamente, 7 minutos, passando a ter uma duração total de 23 minutos.

A partir das análises de custos realizadas, é possível obter os resultados para os ganhos previstos com a aplicação da proposta de solução para a fixação das estruturas, apresentados na Tabela 3. Em termos de percentagem, os ganhos ficarão, então, à volta de 23% se, efetivamente, for possível poupar 7 minutos na operação de fixação. Neste caso, os ganhos percentuais são iguais para todas as máquina, uma vez que o seu cálculo foi efetuado comparando os valores dos custos anteriores e posteriores à solução proposta para cada máquina para um igual tempo de operação e, assim sendo, o ganho percentual é o mesmo.

Tabela 3 – Análise dos ganhos obtidos com a aplicação da proposta de solução.

	<i>Ganhos (%)</i>
<b>Máquina 53</b>	23,33
<b>Máquina 210</b>	23,33
<b>Máquina 215</b>	23,33

## 5. Conclusões e perspectivas de trabalhos futuros

A elaboração do presente relatório permitiu concluir que, apesar de já existir alguma standardização nos produtos da empresa em questão, continuava a haver diversos aspetos a melhorar que se prendiam com a falta de restrições de graus de liberdade nos processos de conceção e desenvolvimento e de fabrico do produto, de modo a que estes se pudessem standardizar eficazmente. Assim, foram propostas soluções que passaram pela normalização e criação de *standards* de:

- Interfaces;
- Dimensões técnicas;
- Operações;
- Tempos de preparação;
- Ferramentas de desenho.

A normalização efetuada teve início com um levantamento e análise das interfaces existentes nas estruturas e nos aventais das quinadoras da gama BB, de forma a perceber quais eram as falhas atuais, relativamente às interfaces que já estavam definidas, e quais as que não se encontravam representadas nos desenhos. A partir deste estudo, foi possível ter uma noção do que podia ser alterado e criado de modo a conciliar as interfaces com os componentes de ligação. Para concluir esta fase, foi feita uma observação e pesquisa no processo de montagem das máquinas, onde foram clarificadas as alterações que deviam ser feitas, as interfaces que se encontravam em falta e os tempos perdidos com o uso de mão-de-obra. A partir do levantamento realizado, foram elaboradas tabelas com as diferenças encontradas nos modelos analisados, permitindo um estudo mais organizado e uma noção mais clara do que era necessário modificar.

Com o objetivo de facilitar ainda mais a standardização das interfaces, foram criados modelos 3D da gama BB com recurso a um *software* CAD, onde foram desenhadas as interfaces (as atuais e as novas propostas).

Foram realizadas, então, as alterações e criações de interfaces nos desenhos dos modelos das máquinas da gama BB de modo a que fosse efetuada a maquinagem das mesmas, já com as modificações propostas. Assim, conseguiu-se averiguar com maior precisão a correção das interfaces criadas através da respetiva montagem dos componentes de ligação.

Este processo foi repetido para as restantes estruturas e aventais das gamas da família das quinadoras - PF, PM e PA.

A realização da análise dos ganhos relativos à substituição do recurso à mão-de-obra pela utilização dos centros de maquinagem para todas as furações revelou que os ganhos percentuais obtidos poderiam atingir a ordem dos 60%, o que é um valor bastante positivo.

A continuação do projeto passou por uma análise do processo de maquinagem das estruturas das quinadoras, permitindo perceber que existiam procedimentos que não estavam a gerar valor no processo. O procedimento analisado foi a fixação das estruturas nas plataformas de maquinagem, o qual se encontrava muito pouco standardizado. Tendo em vista a normalização deste procedimento, criaram-se *standards* de dimensões técnicas, os quais têm como objetivo a poupança de tempo de preparação (*setup*) na fixação das estruturas. A partir da análise de ganhos realizada, foi possível perceber que esta proposta de solução seria positiva em termos de ganhos percentuais, os quais rondavam os 23%.

No processo de maquinagem também foram analisados os tempos de furação, percebendo-se que, apesar de as variações de tempo acontecerem apenas com a profundidade da furação e não serem muito significativas, continuava a ser relevante uniformizar as dimensões das furações uma vez que, somando os tempos das várias operações, estes se tornavam mais consideráveis. Esta uniformização tem como vantagem acrescida o facto de permitir acabar com trocas desnecessárias de ferramenta.

No sentido de normalizar e tornar mais rápido e preciso o processo de conceção e desenvolvimento do produto, procedeu-se à parametrização da ferramenta de trabalho utilizada para o projeto das máquinas que, neste caso, é o *Solig Edge*. Foi criada uma forma de inserir as interfaces na estrutura de qualquer modelo de uma forma automática e com *standards* definidos para as suas cotas e dimensões.

As soluções propostas neste projeto seguiram uma linha de pensamento em que prevaleceu o objetivo constante de tentar estandardizar e modularizar as interfaces e os processos utilizados, aumentando a flexibilidade de produção e diminuindo a sua complexidade, eliminando os vários tipos de desperdício existentes e reduzindo os custos consequentes.

Os resultados obtidos com as medidas implementadas foram satisfatórios, na medida em que foi possível tornar os processos mencionados muito mais normalizados, reduzindo:

- As incoerências existentes nas interfaces;
- As faltas de interfaces;
- O uso de mão-de-obra ineficiente;
- Os tempos de preparação;
- Os tempos de maquinagem;
- Os tempos de projeção das interfaces das máquinas.

A realização da dissertação em regime de estágio na Adira possibilitou um considerável enriquecimento pessoal que passou pela familiarização com a noção do ambiente empresarial e permitiu, ainda, o aprofundamento dos conhecimentos sobre a conceção e o desenvolvimento de máquinas, assim como do processo de fabrico das mesmas. Este projeto proporcionou ainda uma melhor compreensão da necessidade de aplicação dos métodos de modularização e estandardização nos processos de produção, bem como uma aprendizagem das técnicas de implementação que lhe estão inerentes.

### **Trabalhos futuros**

De modo a dar seguimento ao trabalho realizado, seria importante aplicar o processo de estandardização noutras áreas da empresa, como por exemplo na programação CNC utilizada nas máquinas do processo de maquinagem, de forma a que as variantes dos programas sejam reduzidas ao mínimo. Outro exemplo poderia ser a normalização da mudança de ferramenta com o objetivo de possibilitar a minimização dos tempos de preparação da mesma.

Para além disso, uma vez que os *standards* foram definidos para o caso da família das quinadoras, com o intuito de dar continuidade ao projeto, seria essencial normalizar também as restantes famílias produzidas na empresa: as guilhotinas e as máquinas laser.

No sentido de continuar a investir na inovação dos produtos, seria relevante aumentar a aplicação da modularização nas estruturas e componentes produzidos, permitindo menos variantes de estruturas e interfaces como consequência da possibilidade de ligar diferentes componentes à mesma interface.

## Referências

- Bell, S. 2006. "Lean Enterprise Systems: Using IT for Continuous Improvement." *New Jersey: InterScience*.
- Coscarelli, Paulo 2009. "Curso Avaliação da Conformidade: Contextos, Fundamentos e Práticas. Normalização e Regulamentação."
- Jacobs, F. Robert; Chase, Richard B. 2010. *Operations and supply chain management: McGraw-Hill/Irwin*.
- Kampker, A.; Schuh, G.; Burggräf, P.; Nowacki, C.; Swist, M. . 2012. "Cost Innovations by Integrative Product and Production Development." *CIRP Annals-Manufacturing Technology* no. 61:431-434.
- Melton, T. 2005. "The benefits of lean manufacturing: What lean thinking has to offer the process industries." *John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey*.
- Mikkola, Juliana Hsuan 2001. "Modularity Assessment of Product Architecture: Implications for Substitutability and Interface Management."
- Miller, Thomas D.; Elgard, Per. 1998. Defining Modules, Modularity and Modularization. Paper read at Proceedings of the 13th IPS research seminar, Fuglsoe.
- Morais, José M. Simões. 2006. *Desenho Técnico Básico 3, 23ª edição: Porto Editora*.
- Pinto, João Paulo. 2009. *Pensamento Lean. Vol. 3, A filosofia das organizações vencedoras: Lidel*.
- Schuh, G.; Arnoscht, J.; Rudolf, S. 2010. Integrated Development of Modular Product Platforms. Paper read at Technology Management for Global Economic Growth (PICMET), 2010 Proceedings of PICMET'10:.
- Schuh, G.; Rudolf, S.; Vogels, T. . 2014. "Development of modular product architectures." *Procedia CIRP:120-125*.
- Schuh, G.; Van Brussel, H.; Boër, C.; Valckenaers, P.; Sacco, M.; Bergholz, M.;Harre, J. . 2003. A Model-Based Approach to Design Modular Plant Architectures. Paper read at Proceedings of the 36th CIRP International Seminar Progress in Virtual Manufacturing Systems, Saarbrücken.
- Schuh, Günther 2011. Sustaining Capability for Innovation: A German Perspective. Paper read at 6th Annual Manufacturing Summit at MIT at Boston.
- Schuh, Günther s.d. "Production Management A - Lecture 04."
- Ulrich, Karl T. 1995. "The role of product architecture in the manufacturing firm." *Research policy* no. 24 (3):419-440.
- Ulrich, Karl T.; Eppinger, Steven D. . 2008. *Product design and development*. Edited by 5ª edição: McGraw-Hill.
- Wöhe, Stephan; Arnoscht, Jens 2014. "Effectiveness and Efficiency Through Modular Product Architectures."
- Womack, J., D. Jones, and D. Roos. 1990. *The machine that changed the world: Macmillan*
- Womack, J.; Jones, D. 1996. "Beyond Toyota: How to root out waste and pursue perfection." *Harvard Business Review*.

## ANEXO A: Levantamento dos diâmetros e profundidades das furações da gama PM

Tabela 4 - Dimensões das durações de cada interface dos modelos PM13530, PM13540 e PM22040, e respetivas propostas de alterações.

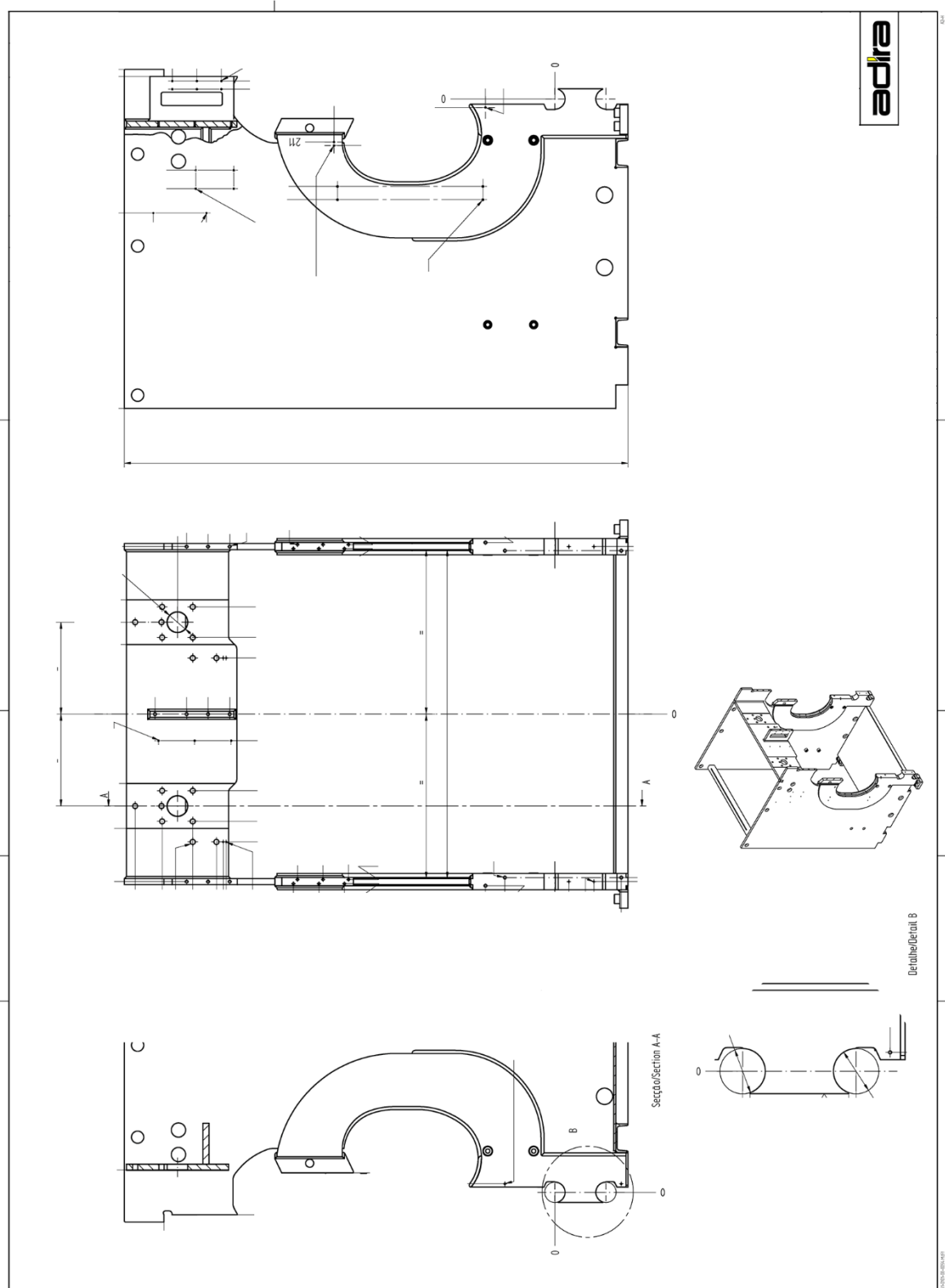
Interfaces cotas funcionais	PM13530	PM13540	PM22040
Célula lateral	M6x25	M6x25	M6x25
	x16	x16	x16
Quadro eléctrico (lado esquerdo)	M8x20	M8x20	M8x20
Suporte esteira laser safe	M6x16	M6x16	M6x16
	x12	x12	x12
Pendural	M10x25 e=90	M10x25 e=90	M10x25 e=90
Guiagem	M8x20 e=160	M8x25	M8x25
		x20	x20
Fixador do afinador régua	M8x16	M8 vazados	M8x16
		x16	
Estrutura cilindro hidráulico	M8x25	M8x25	M8x25
Calços de nivelamento	M8x25	M8x25	M8x25
	x12	x12	x12
Guarda lateral PAs	M10x25 e=90	M8	
	x20		
Depósito	4f.M10	4f.M10	4f.M10
Patim guiagem	M12x30	M12x30	M12x30

Legenda:

	M6	
	M8	
	M10	
	M12	
	M14	
	Proposta de alteração	

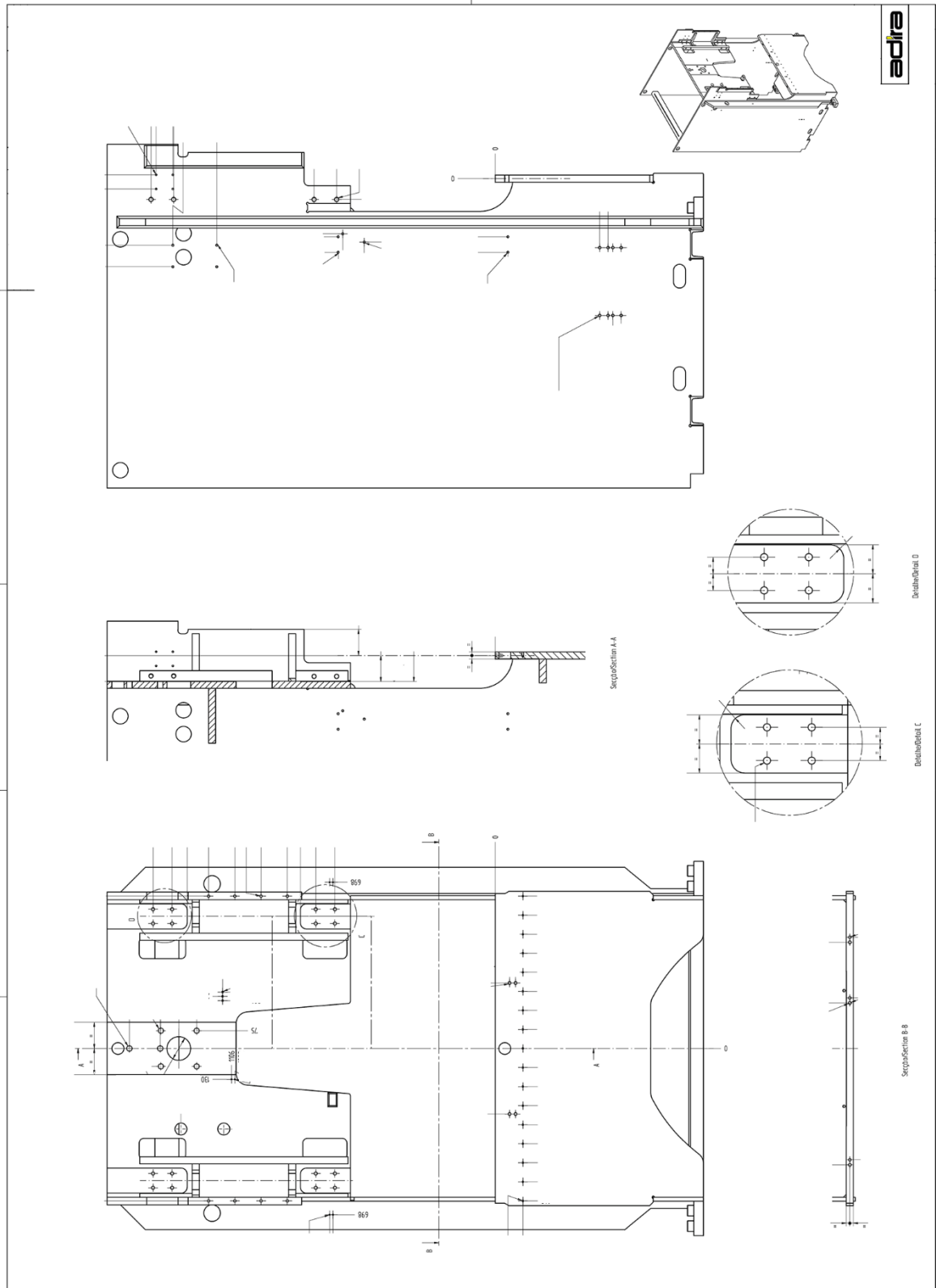
## ANEXO B: Desenho 2D do modelo BB5020, versão D

(por motivos de confidencialidade, todos os dados foram revidos)



## ANEXO C: Desenho 2D do modelo BB2512, versão E

(por motivos de confidencialidade, todos os dados foram revidos)



## ANEXO D: Levantamento das interfaces dos modelos BB2512 e BB5020

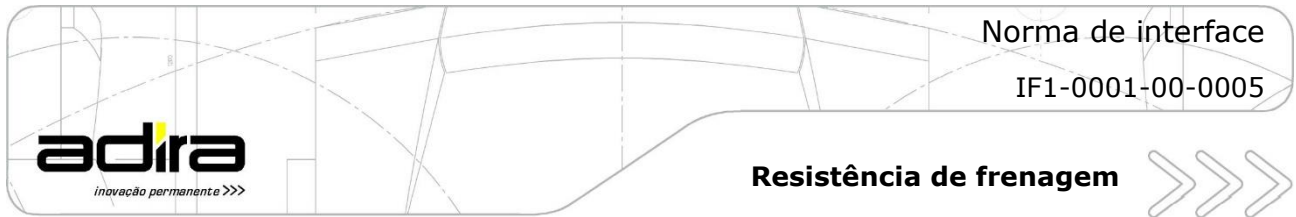
Tabela 5 - Interfaces de cotas funcionais das máquinas BB2512 e BB5020.

Interfaces cotas funcionais	BB2512	BB5020
<b>Célula posterior</b>	Definir	Definir
<a href="#">furos célula</a>	<a href="#">célula</a>	
<b>Resistência frenagem</b>	Definir (1 de cada lado)	Definir (2 de cada lado)
	<a href="#">resistencia frenagem</a>	
<b>Suporte guarda lateral</b>		
	<a href="#">guarda</a>	
<b>Quadro eléctrico (lado direito)</b>	Definir	igual a 2512?
<b>Suporte esteira lasersafe</b>	não tem	Definir(cotas?)
		<a href="#">2 furos diagonais</a>
<b>Esbarro (Unimec)</b>	Definir	não tem (se tem 8 devia ter 7)
<a href="#">furos esbarro</a>	<a href="#">esbarro</a>	
<b>Suporte esteira esbarro (Unimec)</b>	Definir	não tem (se tem 8 devia ter 7)
	<a href="#">furos esteira</a>	
<b>Furação frontal esbarro (Unimec)</b>		tem mas não são usados (deixar ficar?)
<a href="#">4 furos frontais</a>	<a href="#">4 frontais 2512</a>	<a href="#">4 frontais 5020</a>
<b>Furação lateral esbarro (Régua)</b>	não tem	<a href="#">esbarro régua e cabeças</a>
<b>Suportes laterais esbarro (Unimec)</b>	8f. M12	não tem
<b>Pendural</b>	4f. Ø8.5 M10	4f. Ø6.8x20 M8x16
<b>Guiagem</b>	17f. Ø6.8x20 M8x16 e=80	??
<b>Micros fim curso</b>	não tem	4f. Ø6.8x20 M8x16
		<a href="#">micros fim curso</a>

Legenda:

	Está normalizado	
	É necessário alterar	
	É necessário confirmar	

## ANEXO E: Proposta de norma para a interface da resistência de frenagem

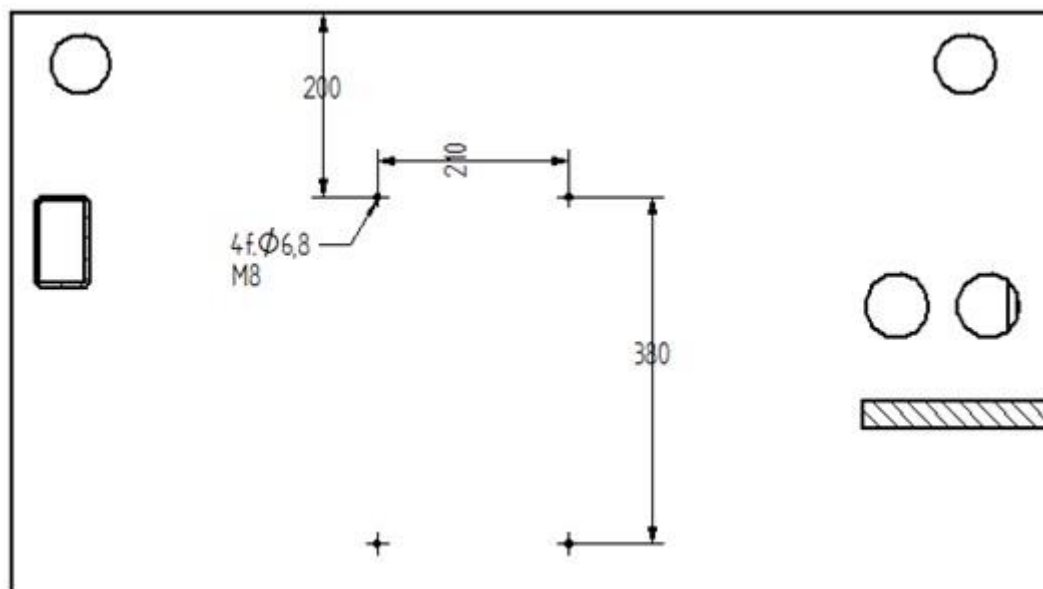


### Norma de interface

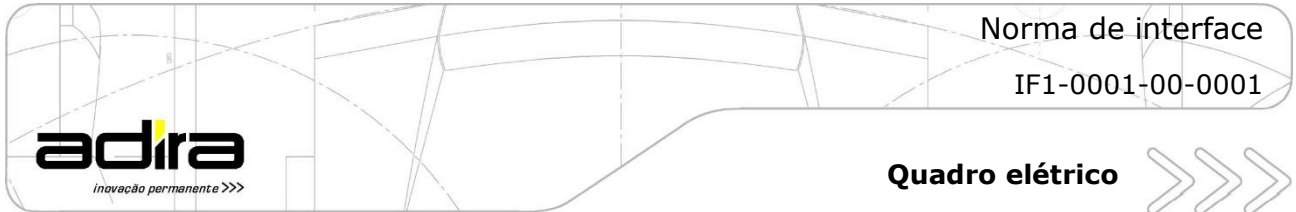
Este documento estabelece as especificações a nível de interface mecânica que devem ser cumpridas de modo a garantir a possibilidade de incorporação, numa determinada quinadora, de resistências de frenagem **171104871**.

### Interface mecânica

O montante direito da máquina deve passar pela operação de maquinagem adequada que permita a fácil instalação da resistência de frenagem, bem como permitir a fácil passagem de cabos necessários para o funcionamento do elemento. Tais operações estão ilustradas no desenho abaixo.



## ANEXO F: Proposta de norma para o quadro elétrico

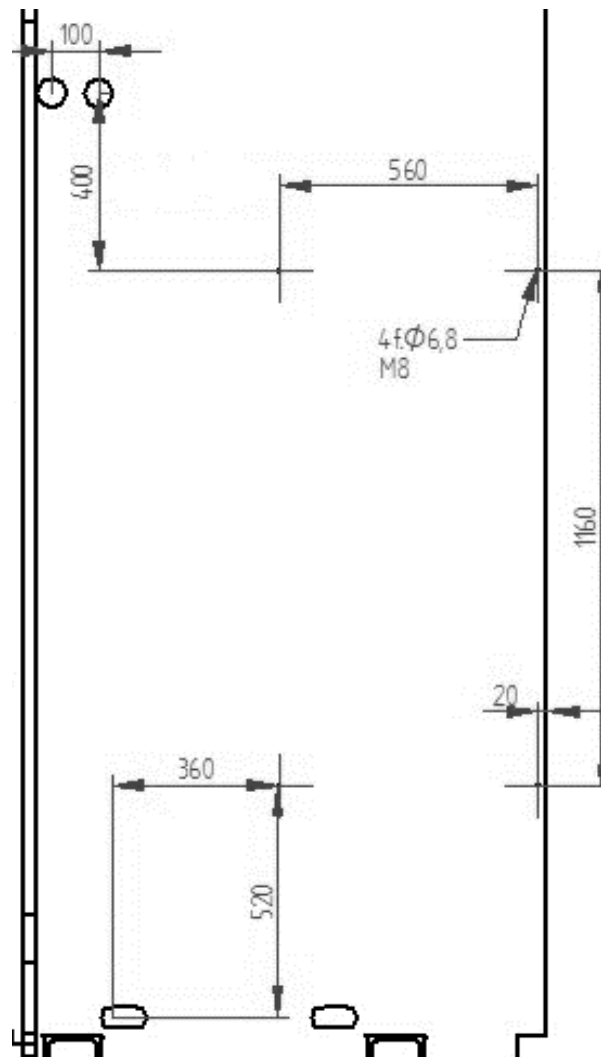


### Norma de interface

Este documento estabelece as especificações a nível de interface mecânica que devem ser cumpridas de modo a garantir a possibilidade de incorporação, em quinadoras da gama BB, do quadro elétrico **170105085**.

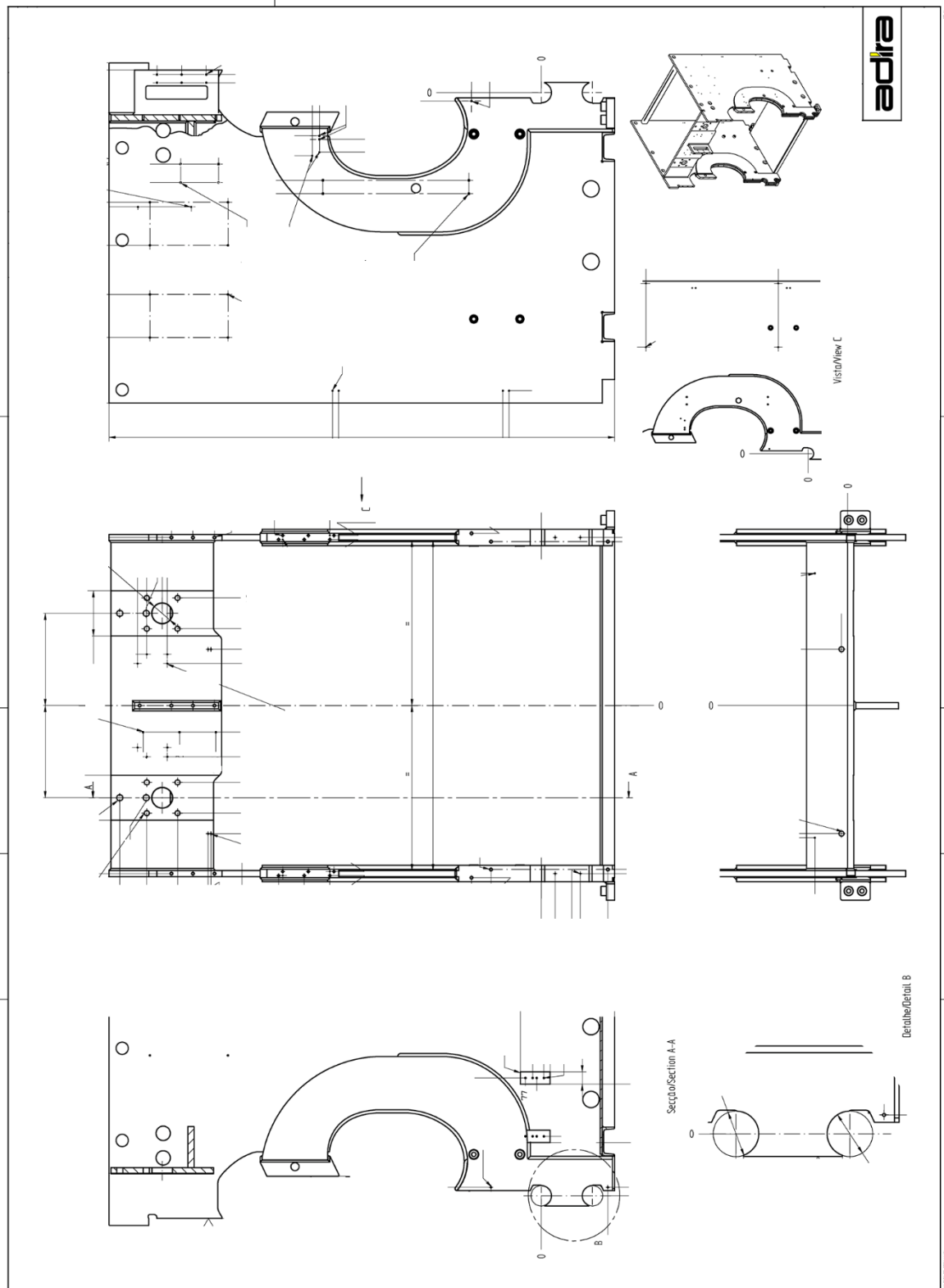
### Interface mecânica

O montante direito da máquina deve passar pela operação de maquinagem adequada que permita a fácil instalação do quadro elétrico, bem como a fácil passagem de cabos necessários para o seu funcionamento, de modo a utilizar sempre o mesmo comprimento dos mesmos. Tais operações estão ilustradas no desenho abaixo, com as cotas de posição relativas aos orifícios de passagem de cabos.



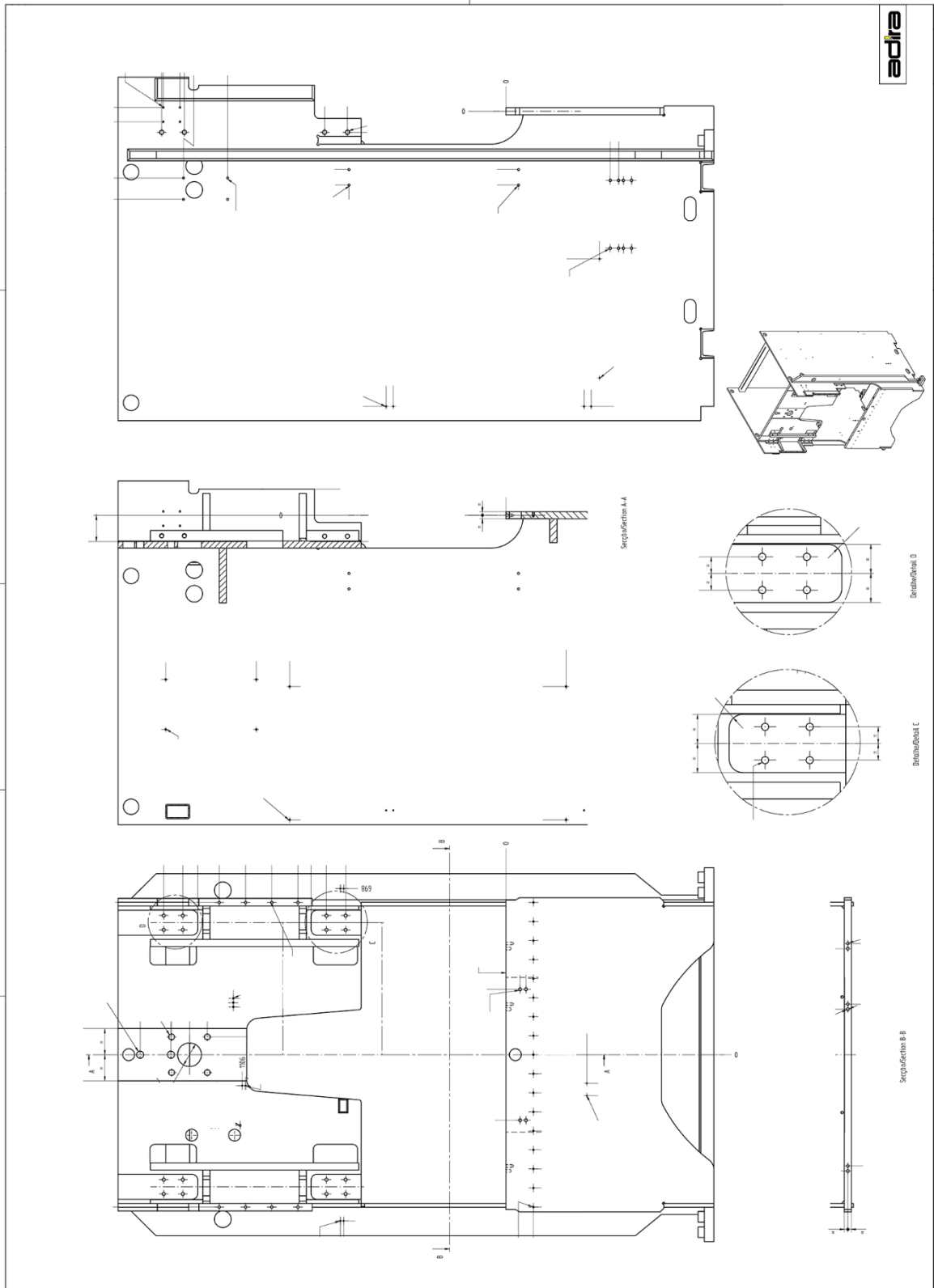
## ANEXO G: Desenho 2D do modelo BB5020, versão H

(por motivos de confidencialidade, todos os dados foram revidos)



## ANEXO H: Desenho 2D do modelo BB2512, versão G

(por motivos de confidencialidade, todos os dados foram revidados)



## ANEXO I: Demonstração do método para projetar as interfaces (exemplo da interface do pendural)

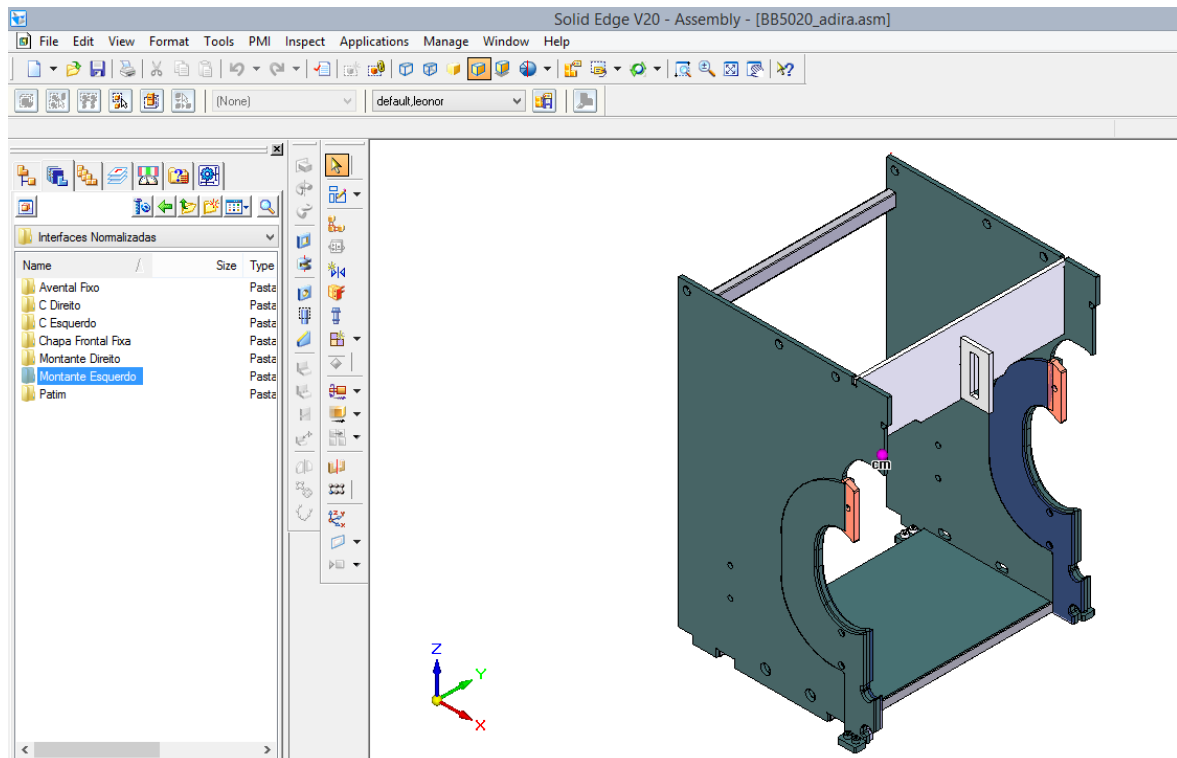


Figura 54 - Janela do *Solid Edge* com a visualização de uma estrutura base (direita) e da biblioteca de interfaces normalizadas apresentando a sua divisão por aplicações (seleção da aplicação no montante esquerdo).

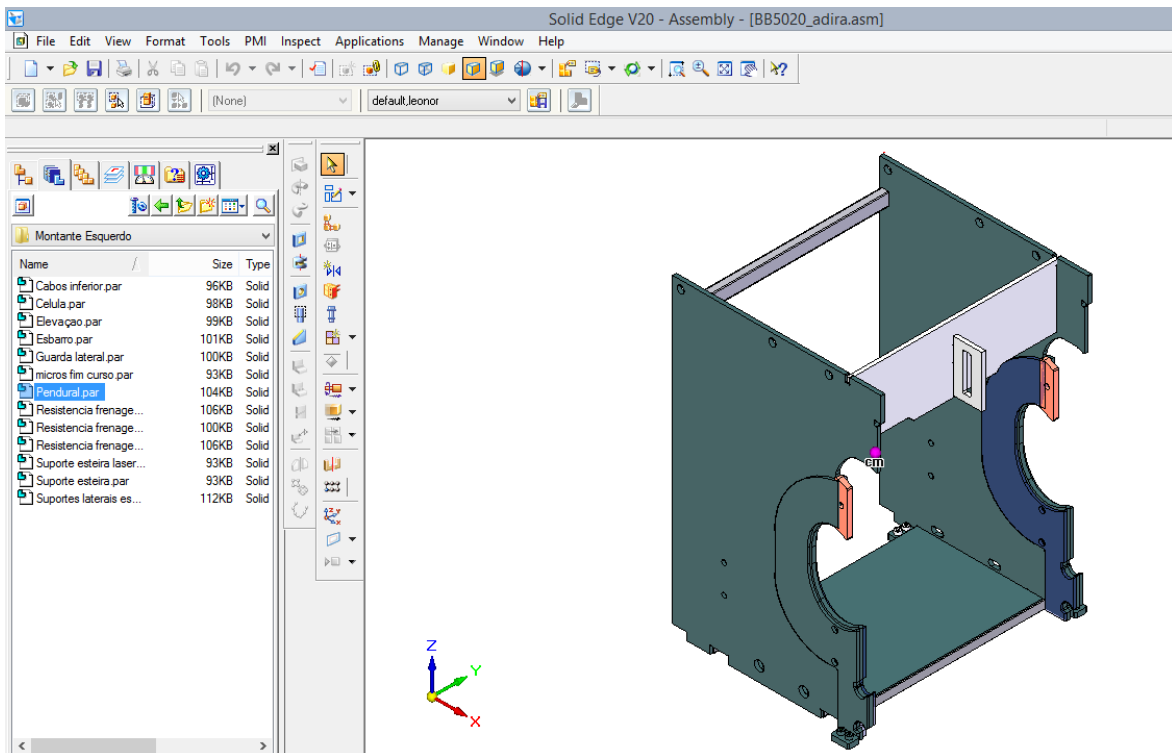


Figura 55 - Janela do *Solid Edge* com a visualização das várias interfaces correspondentes ao montante esquerdo (seleção da interface do pendural).

## ANEXO J: Descrição das funcionalidades do Solid Edge (ordem alfabética)

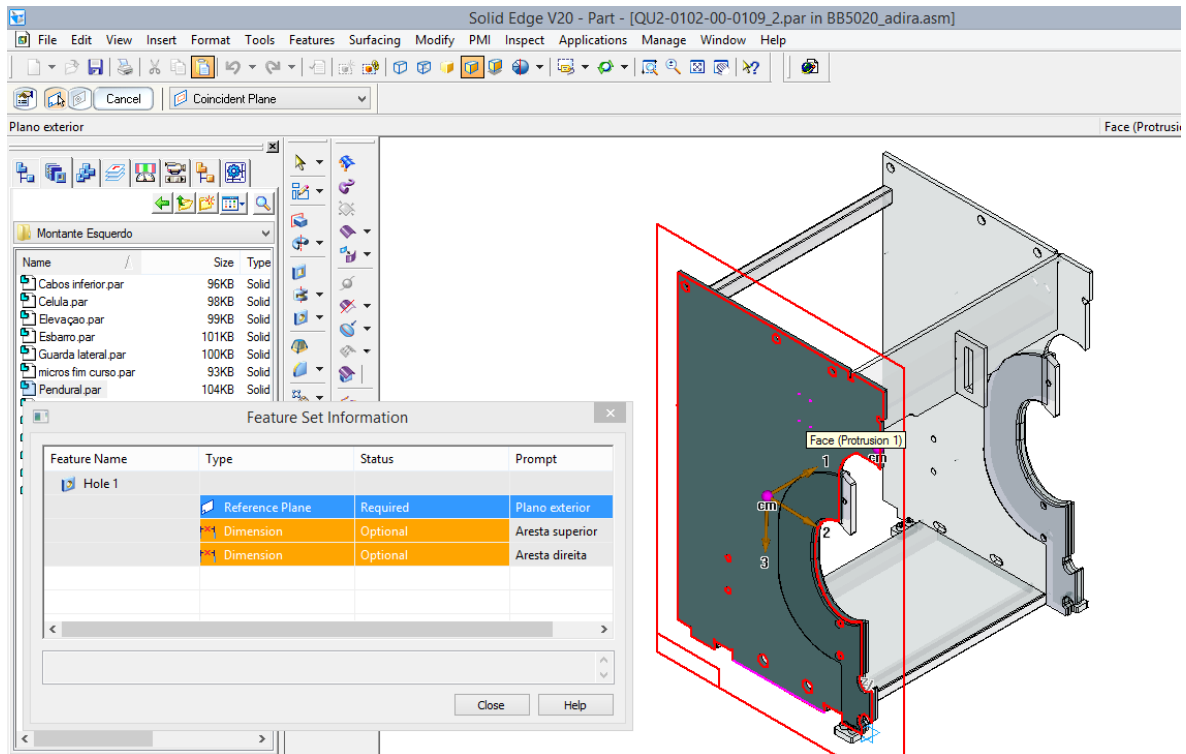


Figura 57 - Janela do *Solid Edge* com a visualização da aplicação da interface do pendural no montante esquerdo da estrutura. Ao colocar a interface selecionada, aparece uma janela com as especificações que devem ser definidas: o plano de referência e as dimensões.

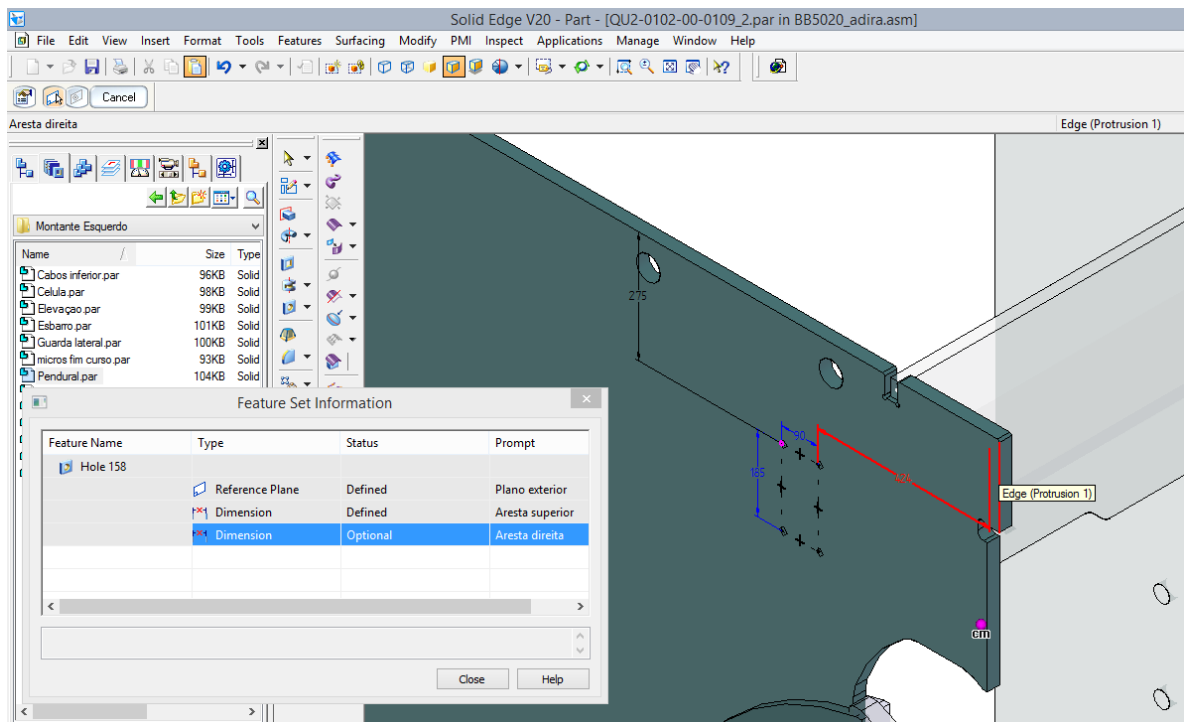


Figura 56 - Janela do *Solid Edge* com a visualização da interface do pendural definida relativamente ao plano, à cota vertical relativa à aresta superior do montante, faltando definir a cota horizontal que será relativa à aresta direita do montante

***Alternate Assemblies*** – Permite criar conjuntos alternativos com os mesmos elementos posicionados de forma diferente ou com alguns elementos comuns e outros diferentes. As variações dos conjuntos podem ser alteradas numa tabela que contém as características de cada conjunto.

***Assembly*** – Conjunto de *parts* que são posicionadas de uma forma válida relativamente a outras *parts* através de restrições de acoplamento. Existe uma liberdade de movimento que permite alterar a sua orientação em translação e rotação.

***Family of Parts*** – Família de *features* com diferentes características pertencentes a um determinado elemento (*part*). Pode ser utilizada para especificar a configuração de cada *feature* e quais as *features* existentes nesse elemento através de uma tabela em formato de folha de cálculo

***Feature*** – característica, funcionalidade ou elemento.

***Feature Library*** – Biblioteca para armazenar *parts* e *features* que são utilizadas geralmente, com as suas características definidas, de modo a que seja fácil localizá-las e criar novos projetos com um menor esforço e uma maior consistência.

***Hole*** – Permite criar furos simples, roscados, cónicos e escareados como *features*, com dimensões específicas e alteráveis.

***Part*** – Peça individual.

***Variable Table*** – Apoia a definição e edição de relações funcionais entre as variáveis e dimensões de um desenho num formato de folha de cálculo, potenciando a automação do processo de desenho. Esta funcionalidade permite definir as variáveis através de valores específicos, regras, fórmulas ou de uma folha de cálculo do Excel.

## ANEXO K: Interfaces normalizadas (variantes, aplicações e códigos)

Tabela 6 - Exemplos de interfaces normalizadas com as respectivas variantes, aplicações e códigos.

Interface normalizada	Variante	Aplicação	Código
Quadro elétrico	<input type="radio"/> Pequeno <input type="radio"/> Médio <input type="radio"/> Grande	<input type="radio"/> Montante direito <input type="radio"/> Montante esquerdo	IF1-0001-00-0001 IF1-0001-01-0001 IF1-0001-02-0001 IF1-0002-00-0001 IF1-0002-01-0001 IF1-0002-02-0001
Pendural	<input type="radio"/> BB <input type="radio"/> PF <input type="radio"/> PM	<input type="radio"/> Montante direito <input type="radio"/> Montante esquerdo	IF1-0001-00-0002 IF1-0001-01-0002 IF1-0001-02-0002 IF1-0002-00-0002 IF1-0002-01-0002 IF1-0002-02-0002
Guarda lateral	<input type="radio"/> 711 <input type="radio"/> 760	<input type="checkbox"/> Montante direito <input type="checkbox"/> Montante esquerdo <input type="checkbox"/> C direito <input type="checkbox"/> C esquerdo	IF1-0001-00-0003 IF1-0002-00-0003 IF1-0004-00-0003 IF1-0005-00-0003 IF1-0001-01-0003 IF1-0002-01-0003 IF1-0004-01-0003 IF1-0005-01-0003
Células posteriores		<input type="checkbox"/> Montante direito <input type="checkbox"/> Montante esquerdo	IF1-0001-00-0004 IF1-0002-00-0004
Resistência de frenagem		<input type="radio"/> Montante direito <input type="radio"/> Montante esquerdo	IF1-0001-00-0005 IF1-0002-00-0005
Suporte lateral esteira esbarro (Unimec)		<input type="radio"/> Montante direito <input type="radio"/> Montante esquerdo	IF1-0001-00-0006 IF1-0002-00-0006
Suporte lateral esbarro (Unimec)		<input type="checkbox"/> Montante direito <input type="checkbox"/> Montante esquerdo	IF1-0001-00-0007 IF1-0002-00-0007
Suporte frontal esteira esbarro (Unimec)		<input type="radio"/> Avental fixo	IF1-0003-00-0008
Esbarro frontal (Unimec)		<input type="radio"/> Avental fixo	IF1-0003-00-0009
Esbarro lateral (Régua)		<input type="checkbox"/> Montante direito <input type="checkbox"/> Montante esquerdo	IF1-0001-00-0010 IF1-0002-00-0010
Suporte micros fim de curso		<input type="checkbox"/> C direito <input type="checkbox"/> C esquerdo	IF1-0004-00-0011 IF1-0005-00-0011
Suporte esteira laser safe		<input type="checkbox"/> C direito <input type="checkbox"/> C esquerdo	IF1-0004-00-0012 IF1-0005-00-0012
Guiagem		<input type="radio"/> Avental fixo	IF1-0003-00-0013
Conjunto de acionamento do eixo y (fuso)		<input type="radio"/> Chapa frontal fixa	IF1-0006-00-0014
Calços nivelamento		<input type="checkbox"/> Montante direito <input type="checkbox"/> Montante esquerdo	IF1-0001-00-0015 IF1-0002-00-0015
Cilindro do Kit de lubrificação		<input type="radio"/> Chapa frontal fixa	IF1-0006-00-0016

Legenda:

Seleção única

Seleção múltipla