



UNIVERSIDADE DE
COIMBRA



José David Silva Novo

**REDUÇÃO DO TEMPO DE *CHANGE-OVER* EM
MÁQUINAS DE TRICOTAR LUVAS, ATRAVÉS DE
KITS COM CONFIGURAÇÃO ALOCADA**

Dissertação no âmbito do grau de Mestre em Engenharia Mecânica na Especialidade de Produção e Projeto orientada pelo Professor Doutor Diogo Mariano Simões Neto e pelo Engenheiro João Carlos Queimadela Bento, apresentada à Universidade de Coimbra/Departamento de Engenharia Mecânica.

Fevereiro de 2019

Redução do tempo de Change-over em máquinas de tricotar luvas, através de kits com configuração alocada
Erro! A origem da referência não foi encontrada.



UNIVERSIDADE DE
COIMBRA

FACULDADE
DE CIÊNCIAS
E TECNOLOGIA

Redução do tempo de *Change-over* em máquinas de tricotar luvas, através de *kits* com configuração alocada

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica na Especialidade de Produção e Projeto

Reduction of Change-over time in gloves knitting machines, through kits with configuration intended

Autor

José David Silva Novo

Orientadores

Diogo Mariano Simões Neto

João Carlos Queimadela Bento

Júri

Presidente Professor Doutor Amílcar Lopes Ramalho
Professor Catedrático da Universidade de Coimbra

Orientador Professor Doutor Diogo Mariano Simões Neto
Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra

Vogal Professor Doutor Fernando Jorge Ventura Antunes
Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra

Colaboração Institucional



Ansell Portugal

Coimbra, Fevereiro, 2019

Aos meus pais.

“Não se pode criar experiência. É preciso passar por ela.”

Albert Camus

Agradecimentos

O presente relatório é o terminar de um longo ciclo de estudos e aprendizagens a todos os níveis. A sua realização apenas foi possível graças à colaboração e apoio de algumas pessoas, às quais gostaria de prestar o meu reconhecimento e gratidão.

Ao Professor Doutor Diogo Neto, pela disponibilidade e interesse no tratamento deste projeto, pelos conhecimentos transmitidos e pela boa disposição sempre presente.

Ao Engenheiro João Bento pela oportunidade concedida, pelos desafios colocados e por todo o acompanhamento prestado ao longo deste período.

Aos Engenheiros Daniel Sousa e Manuel Martins pela criação de um excelente ambiente de trabalho e pela disponibilidade demonstrada no decorrer dos últimos meses.

A todos os colaboradores da Ansell Portugal pela simpatia apresentada.

Aos meus pais e à minha irmã pelo apoio prestado e por sempre acreditarem, sem eles tudo isto não seria possível.

À minha namorada, Raquel, pela paciência, carinho e por sempre me encorajar.

A todos os meus amigos, de infância e aqueles que a vida académica me proporcionou, por estarem sempre a meu lado, quer nos momentos de diversão quer nos de trabalho árduo.

O meu muito obrigado a todos!

Resumo

O presente trabalho foi desenvolvido na Ansell Portugal, empresa que se dedica ao desenvolvimento de equipamentos de proteção individual, nomeadamente luvas e mangas a utilizar no setor industrial. Com o aumento da competitividade no setor industrial, devido à globalização do mercado, são impostos às empresas desafios cada vez maiores e mais complexos. A eficiência, flexibilidade e qualidade dos produtos são fatores cruciais na sua sobrevivência.

O objetivo da presente dissertação é reduzir o tempo de *setup/change-over* das máquinas de tricotar luvas têxteis, de forma a permitir à empresa aumentar a sua flexibilidade de produção e conseguir uma resposta eficiente à procura. No decorrer do projeto foi analisado em pormenor o processo atual de *setup* e identificadas as etapas responsáveis pelo maior desperdício de tempo.

Com base na metodologia *SMED*, a solução passou pela simplificação de algumas tarefas do processo de *setup* utilizado, nomeadamente a remoção e encaixe dos pinos de aço nos tambores de seleção das máquinas de tricotar. Para tal, foram criadas matrizes poliméricas que agrupam um conjunto de pinos, de forma a reduzir o número de peças a reconfigurar em cada processo de *setup* e consequentemente reduzir o seu tempo. Com o intuito de escolher e validar a melhor solução foi realizado um estudo sistemático com recurso a modelos de simulação numérica.

A aplicação do método proposto permite uma redução do tempo de *setup* em cerca de 50% em cada máquina de tricotar, portanto o objetivo inicial do projeto foi alcançado, permitindo uma maior disponibilidade quer do técnico quer da máquina de tricotar.

Palavras-chave: Tempo de *Setup/Change-over*, *SMED*, Flexibilidade, Reconfiguração, Máquina de Tricotar, Simulação Numérica.

Abstract

The present work was developed at Ansell Portugal, a company dedicated to the development of personal protective equipment, namely gloves and sleeves to be used in the industrial sector. With the increase of competitiveness in the industrial sector, due to the globalization of the market, the challenges to companies are becoming bigger and more complex. Efficiency, flexibility and product quality are crucial factors in their survival.

The aim of this dissertation is to reduce the setup / change-over time of a glove knitting machines to allow the company to increase its flexibility of production and to obtain an efficient response to demand. In the course of the project, we analyzed in detail the current setup process and identified the stages responsible for the greatest waste of time.

Based on the SMED methodology, the solution was simplified some tasks of the setup process used, namely the removal and fitting of the steel pins in the selection drums of the knitting machines. To this end, polymer matrices have been created that group together a set of pins in order to reduce the number of pieces to be reconfigured in each setup process and consequently reduce their time. In order to choose and validate the best solution, a systematic study was carried out using numerical simulation models.

The application of the proposed method allows a reduction of setup time by about 50% in each knitting machine, so the initial goal of the project was achieved, allowing a greater availability of both the technician and the knitting machine.

Keywords Setup / Change-over Time, SMED, Flexibility, Reconfiguration, Knitting Machine, Numerical Simulation.

Índice

Índice de Figuras	ix
Índice de Tabelas	xi
Siglas	xiii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Ansell Portugal	1
1.2. Breve descrição do projeto e seus objetivos	2
1.3. Organização do relatório	3
2. ENQUADRAMENTO TEÓRICO	5
2.1. Lean Manufacturing	5
2.2. Change-over Time	6
2.3. SMED	7
2.4. Simulação computacional	8
2.5. Nylon	9
2.6. Prototipagem 3D	10
3. APRESENTAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA	13
3.1. Apresentação da zona de ação	13
3.1.1. Máquina de tricotar (Shima Seiki SFG)	14
3.2. Setup atual	18
3.2.1. Tempo do setup atual	20
4. PROPOSTA DE ALTERAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	23
4.1. Soluções propostas	23
4.1.1. Material escolhido	24
4.1.2. Comportamento mecânico das matrizes	25
4.2. Simulação do encaixe da matriz	30
4.2.1. Otimização da malha de elementos finitos	31
4.2.1. Relação da força de encaixe e desencaixe da matriz	34
4.2.2. Efeito do coeficiente de atrito	35
4.2.3. Otimização da geometria da matriz	36
4.3. Setup proposto	40
5. CONCLUSÕES	45
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47
ANEXO A	49
ANEXO B	50
APÊNDICE A	52
APÊNDICE B	53
APÊNDICE C	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Exemplo de uma roda dentada fabricada em <i>nylon</i> através de impressão 3D (“Material - Impressão 3D Nylon (Alta Resistência),” 2019).....	10
Figura 3.1. <i>Liner</i> proveniente da máquina de tricotar <i>Shima Seiki</i> SFG com jogo de agulhas 13.....	13
Figura 3.2. Máquina de Tricotar (<i>Shima Seiki</i> SFG-I).....	14
Figura 3.3. Posição relativa das agulhas, <i>jacks</i> e <i>control jacks</i> (Ansell, n.d.).....	15
Figura 3.4. Tambor de Seleção (Jogo 13) composto por 84 agulhas.....	15
Figura 3.5. Dimensões essenciais do tambor de seleção do jogo 13.	16
Figura 3.6. Funcionamento do mecanismo de transmissão de movimento: (a) Ligação linear das várias ferramentas (Ansell, n.d.); (b) Contacto e movimento relativo entre o tambor de seleção e os Control Jack, vista lateral.	17
Figura 3.7. Demonstração em perspetiva do funcionamento interno da máquina de tricotar (Ansell, n.d.).....	17
Figura 3.8. Parte do mapa utilizado para conseguir o posicionamento dos pinos corretamente, jogo 13 L2/L3 D3 (Frente) (Seiki, 2006).	19
Figura 3.9. Tambores de seleção Máquina <i>Shima Seiki</i> SFG (jogo 13).	20
Figura 3.10. Distribuição do tempo que cada tarefa ocupa no presente processo de <i>setup</i> . 22	
Figura 4.1. Matrizes criadas: (a) Matriz com ligação na base dos pinos (Matriz A); (b) Matriz com três ligações (Matriz B); (c) Dimensões base da Matriz A.....	24
Figura 4.2. Gráfico do comportamento de tensão real -deformação (Alzayer, Clay, & Shen, 2014).....	25
Figura 4.3. Distribuição do deslocamento ao longo do eixo X para a Matriz A solicitada verticalmente segundo X com 20 N.	26
Figura 4.4. Distribuição do deslocamento ao longo do eixo X para a Matriz B solicitada verticalmente segundo X com 20 N.	26
Figura 4.5. Distribuição do deslocamento ao longo do eixo Y para a Matriz A solicitada verticalmente na face superior segundo Y com 0,1 N.....	27
Figura 4.6. Distribuição do deslocamento ao longo do eixo Y para a Matriz B solicitada verticalmente na face superior segundo Y com 0,1 N.....	28
Figura 4.7. Distribuição do deslocamento ao longo do eixo Z para a Matriz A solicitada horizontalmente na face superior segundo Z com 20 N.....	29
Figura 4.8. Distribuição do deslocamento ao longo do eixo Z para a Matriz B solicitada horizontalmente na face superior segundo Z com 20 N.....	29
Figura 4.9. Secção da matriz e do tambor utilizada para simular o seu encaixe.	31

Figura 4.10. Evolução da força de reação na matriz em função do deslocamento vertical para as diferentes malhas utilizadas.	32
Figura 4.11. Evolução do tempo de simulação para diferentes malhas de elementos finitos.	33
Figura 4.12. Distribuição da tensão equivalente prevista pela simulação do encaixe já com a malha refinada 6.	34
Figura 4.13. Evolução da força de reação na matriz durante o seu processo de encaixe e desencaixe no tambor de seleção.	35
Figura 4.14. Evolução da força de reação na matriz para os diferentes atritos testados.	35
Figura 4.15. Evolução da força de reação na matriz para as diferentes larguras do pino. ...	37
Figura 4.16. Geometria da matriz: (a) Arredondamento de 0,5 mm na base; (b) Arredondamento de 1 mm na base.	37
Figura 4.17. Evolução da força de reação na matriz para os seus diferentes raios de arredondamento.	38
Figura 4.18. Parte do mapa do jogo 13 L2/L3, D3 (Frente) proposto.	41
Figura 4.19. Demonstração da disposição dos pinos de aço no tambor de seleção para a configuração atual.	41

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1. Tempo estimado de setup dividido pelas várias etapas durante a operação de reconfiguração dos pinos.	21
Tabela 4.1. Área de contacto entre a seção da matriz e do tambor correspondente ao raio de arredondamento.	38
Tabela 4.2. Força de reação total de uma matriz para três combinações possíveis de características de um pino.	39
Tabela 4.3. Comparação do número de peças a usar no processo de <i>change-over</i> de uma máquina de tricotar atual com o proposto.	42
Tabela 4.4. Tempo de Setup dividido pelas várias etapas durante a operação de reconfiguração dos pinos atual e proposta.	43
Tabela 4.5. Ganhos alcançados com método de <i>setup</i> proposto para uma máquina de tricotar.	44
Tabela 4.6. Ganhos alcançados anualmente com método de <i>setup</i> proposto.	44

SIGLAS

*.amf – additive manufacturing format

*.stl – stereolithography

3D – Tridimensional

CAE – Computer Aided Engineering

CFD – Mecânica dos Fluidos Computacional

DEM – Departamento de Engenharia Mecânica

FCTUC – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

MDF – Método das Diferenças Finitas

MEF – Método dos Elementos Finitos

RP – Prototipagem Rápida

SMED – Single Minute Exchange of Die

1. INTRODUÇÃO

A presente dissertação foi elaborada em ambiente industrial, especificamente na empresa Ansell Portugal, no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

1.1. Ansell Portugal

A Ansell Portugal está direcionada para a produção de equipamentos de proteção individual, nomeadamente proteção de mãos e braços em aplicações industriais. Encontra-se integrada no Grupo Ansell, uma multinacional líder de mercado no setor da proteção individual, o qual alarga ainda os seus horizontes com a produção de vestuário de proteção. A sua produção divide-se em três categorias que dizem respeito à divisão das áreas de negócio: Indústria, Clínica e Descartáveis. A nível geográfico, o Grupo estende-se por quatro regiões: América do Norte, América Latina e Caraíbas, Europa, Médio Oriente e África (EMEA), Ásia e Pacífico.

A nível histórico, a Ansell Portugal foi fundada em 1989 por Francesco Vazzana e Luís de Sousa com a denominação de Franco Manufactura de Luvas, Lda., e iniciou a sua atividade industrial em Outubro de 1990 com 53 colaboradores e uma capacidade de produção de 12000 pares de luvas por dia. Em 1994, já com 112 colaboradores, foram construídas duas novas Linhas de Produção (LP2 e LP3) aumentando a capacidade produtiva de 1,8 milhões pares de luvas em 1991 para 8,4 milhões em 1996. Neste mesmo ano, a empresa foi adquirida pela multinacional London International Group, mantendo o mesmo capital social, contando já com 167 colaboradores. Em 1999, deu-se a fusão entre o London International Group e o Seton Scholl Healthcare, de onde resultou a SSL International PLC. Neste mesmo ano foi ainda instalada uma nova linha de produção, passando a capacidade anual de produção para 13 milhões de pares de luvas.

Nos anos 2000 e 2001, a empresa decidiu apostar numa diversificação de produtos, adquirindo 30 máquinas de tricotar, o que permitiu a produção de luvas tricotadas utilizando diversos materiais (algodão e fios técnicos). No ano de 2003, ocorreu a venda da empresa por parte da SSL International PLC à Comasec Divisão, uma multinacional

francesa. Em 2004, foi novamente alterado o pacto social da empresa, desta vez mudando a sua denominação de Franco Manufatura de Luvas, Lda. para Marigold Industrial Portugal – Luvas Industriais, Unipessoal, Lda. Ainda durante o decorrer desse ano, a empresa recebeu mais 44 máquinas de tricotar, aumentando a capacidade de produção de luvas tricotadas para 3 milhões de pares por ano, contando já com 230 colaboradores.

Entre 2005 e 2007, ocorreu a construção de um edifício têxtil, albergando a secção de tricotar e costura, ampliando a área das instalações fabris. Posteriormente foram instaladas mais 58 máquinas de tricotar aumentando a capacidade de produção anual desta área para 5 milhões de pares de luvas, com 243 colaboradores. Em 2012, a fábrica passa a chamar-se Ansell Portugal, nome atual, pois foi adquirida pelo Grupo Ansell Limited.

A Ansell Portugal situa-se na zona industrial de Poiares, em São Miguel de Poiares, e presentemente conta com 350 colaboradores organizados pelas diversas áreas de produção. Atualmente a capacidade de produção de luvas tricotadas ronda os 8 milhões de pares por ano.

1.2. Breve descrição do projeto e seus objetivos

No panorama atual existe uma forte competitividade entre empresas, pois o mercado é cada vez mais global e os desafios são cada vez maiores e mais complexos. Assim, as empresas precisam de maximizar a eficiência com que utilizam os seus recursos para se manterem competitivas em relação aos seus concorrentes. O cumprimento dos prazos na entrega de produtos únicos e exclusivos é um fator diferenciador no que diz respeito a captar a atenção de novos clientes. Esta diferenciação pode ser conseguida quer através da inovação ao nível dos produtos, quer ao nível dos processos produtivos.

A inovação em relação ao desenvolvimento de novos produtos leva obrigatoriamente ao aumento do número de artigos disponíveis para comercialização. No entanto, para fazer um uso eficiente dos recursos existentes (máquinas), impõe-se uma flexibilização na produção, nomeadamente a utilização da mesma máquina na produção de vários artigos com características diferentes. Para isto ser possível, é necessário existir uma reconfiguração da máquina, sendo este um ponto crítico no processo, uma vez que estas operações não acrescentam valor ao produto, no entanto são indispensáveis. Assim, a minimização dos tempos de *setup* pode ser decisivo para o sucesso de uma empresa.

O projeto foi desenvolvido na secção de tricotar da Ansell Portugal, na qual estava já identificado o problema. Com o aumento do número de produtos diferentes comercializados pela empresa, nomeadamente os vários modelos de luvas tricotadas, o tempo excessivo de *setup / change-over* de cada máquina de tricotar passou a ser um fator decisivo para a competitividade da empresa.

O objetivo principal deste projeto é reduzir o tempo de *setup*. Isso requer o estudo em pormenor do funcionamento de uma máquina de tricotar luvas têxteis, assim como de todos os fatores associados ao processo atual de alteração de configuração. O primeiro passo consiste em identificar as deficiências existentes no processo de reconfiguração atualmente implementado na empresa. Posteriormente, devem ser estudadas algumas soluções de melhoria que passaram pela criação de *kits* com configuração alocada. Estes *kits* devem ser produzidos em material polimérico flexível de forma a facilitar a montagem e reduzir o tempo de *setup* necessário.

Todas as novas configurações propostas requerem uma validação, ou seja, um estudo sistemático com recurso a modelos de simulação numérica feitos de forma a comprovar que existe a capacidade necessária para desempenhar as tarefas desejadas durante o tempo esperado. Numa fase final, o método atual deve ser comparado com o método proposto de forma a quantificar os ganhos de tempo conseguidos e assim verificar se foi conseguido o objetivo principal.

1.3. Organização do relatório

A presente dissertação encontra-se dividida em cinco capítulos, incluindo o presente no qual é feita uma apresentação da empresa Ansell Portugal, uma breve descrição do projeto, o seu enquadramento na empresa e quais os objetivos principais.

No segundo capítulo é feito um enquadramento teórico dos temas abordados ao longo do projeto. Tem como objetivo a descrição dos conceitos e metodologias que vão fundamentar a ação prática desenvolvida e ainda que representam as melhores práticas da indústria.

Ao longo do terceiro capítulo é apresentada a zona da empresa onde vai ser desenvolvido o projeto, assim como o funcionamento detalhado da própria máquina de tricotar. De forma a perceber todas as suas particularidades foi estudado em pormenor o

processo de *setup* utilizado atualmente, partindo de uma divisão por tarefas e contabilizando o tempo despendido em cada uma delas, para identificar qual a mais crítica.

No quarto capítulo são apresentadas as soluções propostas, é feito um estudo aprofundado com recurso a modelos de simulação numérica com o intuito de optar por uma delas com segurança. É descrito o processo de *setup* proposto e estimado o tempo necessário para a realização de cada tarefa, posteriormente comparando com o tempo utilizado pela configuração atual são calculados os ganhos conseguidos.

No quinto e último capítulo da dissertação são apresentadas as principais conclusões do projeto e algumas perspetivas futuras que o desenvolvimento deste permitiu equacionar.

2. ENQUADRAMENTO TEÓRICO

O objetivo deste capítulo é introduzir e explicar os conceitos teóricos que foram utilizados ao longo do relatório, que sustentaram cientificamente este projeto e ainda que vão de encontro com os melhores procedimentos utilizados no setor industrial na atualidade.

2.1. Lean Manufacturing

Nos dias que correm, a presença de produtos comercializados mundialmente tem aumentado, assim como a exigência dos clientes quanto à diversidade, nível de qualidade, preço e velocidade de entrega. Uma forma de conseguir reduzir o preço do produto final é aliar um sistema de garantia de qualidade com um bom sistema de planeamento e controlo da produção que seja capaz de garantir prazos de entrega reduzidos.

Para combater a competitividade cada vez mais elevada, as empresas têm de se adaptar e ser o mais versáteis possível. É necessário implementar métodos que possibilitem às empresas reduzir os seus custos e aumentar a flexibilidade na sua produção.

Esta maior flexibilidade do sistema produtivo é fundamental para as empresas, uma vez que precisam de colocar novos produtos no mercado, tendo sempre em mente o mais baixo custo de produção dos mesmos (J. Womack & Jones, 2005).

De acordo com (Upton, 1998) flexibilidade pode ser definida de duas formas:

1. Capacidade de trocar rapidamente a produção, possibilitando uma maior capacidade de resposta às variações da procura;
2. Capacidade de produzir uma grande variedade de produtos.

Numa perspetiva *lean* o inventário é algo indesejável que deverá ser reduzido a valores mínimos e idealmente levar-se à sua extinção (Hirano, 2009).

A sobreprodução cria um elevado número de desperdícios, consumindo recursos humanos e materiais, pagando em avanço aos operadores, requer área de armazenamento para acomodar o excesso de produtos e requer recursos para os transportar (Association, 1989).

A ferramenta *Lean* não possui um significado exato. Este conceito foi evoluindo ao longo do tempo, sendo um tema alvo de bastante estudo. Cada autor foi surgindo com a sua própria definição de *Lean Manufacturing*, no entanto, todas elas se complementam.

Segundo (Shingo & Dillon, 1985) a definição de *Lean Manufacturing* remete para uma postura onde se devem identificar todas as fontes de custos que não acrescentam qualquer valor ao produto final. Desperdício não custa apenas dinheiro, provoca um aumento no tempo de percurso dos produtos no sistema produtivo e impede a empresa de fazer coisas mais produtivas com esses recursos. Uma vez identificadas essas fontes de desperdício, resta estudar formas de as reduzir ou se possível eliminá-las.

O conceito *Lean* surge também no livro “*The Machine That Changed The World*” (J. P. Womack, Jones, & Roos, 1990). Segundo Womack et al. (1990) *Lean* baseia-se numa abordagem sistemática para identificar e eliminar todos os desperdícios, através de uma filosofia de melhoria contínua, satisfazendo os requisitos e os prazos acordados com o cliente.

A filosofia *Lean* com o passar dos anos expandiu-se por todo o mundo em diferentes setores da indústria, sendo considerada cada vez mais uma filosofia fundamental para o sucesso das empresas.

2.2. Change-over Time

A necessidade de tempos de *setup* curtos não é nova, é um paradigma já antigo. De facto, o tempo entre o último produto produzido de uma série e o primeiro produto produzido de uma nova série que contem toda a qualidade e requisitos esperados sempre foi considerado como um resíduo ou como “Custo adicional” (Goubergen & Landeghem, 2002).

O *Change-over Time* é o período necessário para preparar um dispositivo, uma máquina ou um sistema quando se pretende uma alteração de produção, ou seja, é o tempo decorrido desde que a última boa unidade foi produzida até ao momento em que a primeira boa unidade diferente é concluída (Nash & Poling, 2008).

De acordo com (Goubergen & Landeghem, 2002) é possível categorizar as diferentes razões para um *setup* curto em três grupos principais:

1. **Flexibilidade:** Devido ao número crescente de produtos e variantes de produtos que devem ser oferecidas ao cliente e uma diminuição dos pedidos no que diz respeito à quantidade, uma empresa tem de ser capaz

de reagir rapidamente. Para a produção de lotes pequenos existe a necessidade de ter tempos de *setup* curtos.

2. **Capacidade de Bottleneck:** Cada minuto perdido é um desperdício. Os tempos de *setup* precisam de ser minimizados para maximizar a capacidade de produção disponível.
3. **Minimização de custos:** Como os custos diretos de produção estão relacionados com o desempenho da máquina, um cálculo da eficácia do equipamento mostra facilmente o impacto da redução dos tempos de *setup* no desempenho da máquina.

Segundo (Goubergen & Landeghem, 2002) há diversas publicações e estudos de caso disponíveis de como os tempos de *setup* podem ser reduzidos, mas basicamente todas estas aproximações são derivadas do método *SMED – Single Minute Exchange of Die*.

2.3. SMED

A metodologia *Single Minute Exchange of Die* combate o pressuposto de que o tempo de *setup* é algo imutável. Esta metodologia mostra que é possível diminuir o tempo de *setup* para pequenos intervalos de tempo. (Herr, 2013). A sigla *SMED* significa *Single Minute Exchange of Die*, normalmente conhecido como troca rápida de ferramentas, e tem como objetivo efetuar mudanças entre produtos em tempos na ordem de um dígito. Este método foi inicialmente desenvolvido por Shigeo Shingo com o intuito de reduzir o tempo de *setup* entre operações (McIntosh, Culley, Mileham, & Owen, 2001).

(Shingo & Dillon, 1985) divide a aplicação do SMED em 3 etapas principais:

1. **Separação:** Inicialmente é necessário fazer uma identificação e separação das atividades em duas categorias:
 - Atividades internas: atividades que apenas podem ser realizadas com a máquina parada.
 - Atividades externas: atividades que podem ser realizadas com a máquina já em funcionamento.

Diversas atividades podem ser realizadas com as máquinas em funcionamento, e muitas vezes não são, porque os operadores aguardam pela paragem para efetuar todas as atividades de mudança.

2. **Conversão:** Após estar feita a distinção entre atividades internas e externas, realiza-se a conversão do número máximo de tarefas internas em externas. Assim, ao diminuir o número de tarefas internas, diminui o tempo de paragem da máquina.
3. **Simplificação:** depois de definida a ordem de realização das atividades, e separadas as internas e externas, todos os aspetos do processo de mudança devem ser simplificados. A simplificação e racionalização das atividades internas devem ter prioridade.
 - Simplificação das atividades internas: a simplificação destas atividades deve ser elaborada primeiro, pois é a duração destas que define o tempo de paragem da máquina. Maneiras eficientes de o fazer podem passar pelo uso de fixadores rápidos, usando ferramentas mais eficientes, processos mecanizados para configurações e ajustes, e paralelização das atividades.
 - Simplificação das atividades externas: simplificando estas atividades, diminui o esforço requerido ao operador para o processo de setup. Isto pode ser conseguido melhorando o local onde se encontram as ferramentas (organização e limpeza do armazenamento) e ainda a forma como estas são transportadas.

A correta aplicação do *SMED* traz inúmeras vantagens, tais como uma diminuição dos tempos de mudança, permitindo às empresas realizar um maior número de mudanças de produto, o que se traduz numa produção em lotes mais pequenos, e redução de desperdícios (Shingo & Dillon, 1985).

2.4. Simulação computacional

Em determinada fase de conceção e desenvolvimento de um novo produto, o engenheiro depara-se com a necessidade de prever o comportamento em serviço do sistema idealizado. Uma solução tradicional seria a construção de protótipos ou modelos reduzidos dos sistemas para fazer ensaios em laboratório, onde eram estrategicamente colocados instrumentos de medição para captarem dados de tensões, deformações, velocidades, forças, etc. Esta solução consome muitos recursos, portanto não é a solução ideal.

Atualmente, devido ao grande desenvolvimento tecnológico observado na área dos computadores, existem vários *softwares* com a capacidade de fazer simulações numéricas de situações físicas de grande complexidade. A utilização destas ferramentas computacionais por parte da engenharia tem permitido reduzir o número de testes experimentais de validação de produto, resultando de certa forma em verdadeiros protótipos virtuais.

O *CAE* é uma tecnologia voltada para o uso de sistemas computacionais na análise da geometria *CAD –Computer aided design*, permitindo que os projetistas simulem e estudem o comportamento do produto para que o projeto possa ser validado, refinado e otimizado (Lee, 1999).

CAE – Computer Aided Engineering ou em português (Engenharia Assistida por Computador) é uma ferramenta de trabalho que utiliza o computador para dar suporte à engenharia. Esta ferramenta suporta o desenvolvimento de projetos, por meio de análises de simulação numérica como: análises estáticas, dinâmicas, térmicas, magnéticas, de fluidos, acústicas, de impacto, fazendo do *CAE* uma ferramenta poderosa na redução de custos de um projeto e minimizando o tempo de lançamento do produto final. Esta ferramenta pode criar protótipos virtuais dos produtos, simulando as condições de utilização em ambiente virtual. O processo principal do *CAE* é o Método dos Elementos Finitos (MEF), mas existem outras como por exemplo o Método das Diferenças Finitas (MDF), utilizado principalmente na mecânica dos fluidos computacional (CFD) (Brockman, 2010).

2.5. Nylon

Utilizado mundialmente por muitos fabricantes, o *Nylon* é bem conhecido pela sua impressionante resistência e durabilidade, elevada razão resistência/peso, flexibilidade, baixo atrito e resistência à corrosão. Experiência de impressão 3D perfeita devido à reduzida absorção de humidade. Ideal para criar protótipos funcionais, modelagem industrial e de utensílios (Jaume I, 2017).

Dentro da gama de plásticos de engenharia, o *nylon* pode ser usado numa ampla gama de aplicações, incluindo segmentos automóveis, partes de desgaste na indústria, segmentos eletrónicos. No geral, as aplicações automóveis têm sido o principal

impulsionador desse crescimento positivo nos últimos anos, na tendência de substituir metal por plástico, com a finalidade de reduzir o peso e os custos (Chemsystems, 2009).

A Figura 2.1 mostra uma utilização possível do *nylon*, no caso uma roda dentada produzida por impressão 3D.



Figura 2.1. Exemplo de uma roda dentada fabricada em *nylon* através de impressão 3D (“Material - Impressão 3D Nylon (Alta Resistência),” 2019)

2.6. Prototipagem 3D

Prototipagem Rápida (RP), segundo variados tipos de indústrias, era um termo utilizado para descrever o processo de rápida criação de um sistema ou parte do mesmo que representasse o produto final antes do seu lançamento e comercialização, ou seja, um protótipo ou um modelo base a partir do qual (eventualmente) surgisse o produto final. Contudo, com a evolução da tecnologia e dos variados processos de RP, esta definição foi-se desajustando face à qualidade e funcionalidade do output oferecido pelos diferentes processos. Se por um lado numa primeira fase o resultado final dos processos de RP serviria apenas para a elaboração de protótipos, com o desenvolvimento tecnológico o produto obtido foi-se assemelhando cada vez mais com o produto final. Face a esse aumento de qualidade para fins de comercialização do produto, a Fabricação Aditiva (Additive Manufacturing, em Inglês), passou a ser um processo de fabrico pois um dos princípios associados a estas técnicas é que a produção se faz por adição sucessiva de material ao longo do processo. Deve, no entanto, referir-se que o termo mais usado como referência a este tipo de tecnologia é Impressão 3D (Gibson, Rosen, & Stucker, 2014).

De uma forma simples, o sistema de Impressão 3D desenrola-se de acordo com as seguintes etapas (Mellor, 2014):

- Concetualização.
- Elaboração tridimensional do objeto em plataforma *CAD* ou obtenção do mesmo a partir de um objeto real, com recurso a um *scanner* 3D.
- Conversão do ficheiro para o formato *.stl (stereolithography) mais antigo ou *.amf (additive manufacturing format) que é mais recente e pode suportar mais informação, mas que não é tão usado como o anterior.
- Processamento do ficheiro por parte de um *software* próprio, que irá “fatiar” o objeto e posteriormente traduzir o ficheiro para linguagem *G-code*, que contém as instruções que a máquina irá depois interpretar e executar.
- Envio do ficheiro para o computador instalado na máquina e configuração da mesma.
- Construção.
- Eventualmente, em alguns casos, limpeza e pós-processamento.
- Aplicação.

A tecnologia de fabrico aditivo tem vindo a demonstrar uma forte capacidade para a produção de componentes para as mais diversas aplicações. Nos últimos anos registou-se um crescimento da disponibilidade de impressoras 3D com diferentes tecnologias associadas, cabendo ao projetista a seleção mais adequada do processo/material a utilizar de acordo com o objetivo final do produto (Abreu, 2015).

3. APRESENTAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

O projeto desenvolvido incide na necessidade de redução do tempo de *setup* de uma máquina de tricotar luvas têxteis. Ao longo deste capítulo apresenta-se o equipamento estudado, bem como o seu modo de funcionamento. Desta forma será possível perceber todas as particularidades da configuração utilizada atualmente.

3.1. Apresentação da zona de ação

A Ansell Portugal encontra-se dividida por secções de produção, o presente projeto foi desenvolvido na secção de tricotar e costura da fábrica, situado no edifício têxtil. Esta secção encontra-se dividida em três zonas produtivas: *Covering*, *Knitting* e *Sewing*. O trabalho feito na zona *Covering* é enrolar os vários tipos de fios utilizados individualmente na zona *Knitting*, de forma a conseguir uma compatibilidade com as máquinas de tricotar. Esta zona, *Knitting*, faz uso de várias máquinas de tricotar para produzir *liners*, ou seja, luvas têxteis como aquela que é apresentada na Figura 3.1. Após a sua produção, os *liners* podem ser encaminhados para a zona onde é feito o seu revestimento com fluidos ou para a zona de *Sewing*, na qual se dá o acabamento de alguns deles através da costura.



Figura 3.1. *Liner* proveniente da máquina de tricotar *Shima Seiki SFG* com jogo de agulhas 13.

3.1.1. Máquina de tricotar (Shima Seiki SFG)

As luvas têxteis (*liners*) são produzidas em máquinas de tricotar automáticas, Shima Seiki SFG, como a apresentada na Figura 3.2. Estas máquinas permitem a criação de *liners* sem costuras, ou seja, de uma única malha como se vê na Figura 3.1. Esta particularidade possibilita a criação de itens de formas complexas, para além de oferecer produtos com maior resistência, alongamento e ainda excelente conformidade com a forma das mãos, sendo esta uma característica crucial que as torna indispensáveis no processo produtivo da empresa. Estes benefícios de produção de qualidade, aliados à possibilidade de utilização de fios técnicos finos na costura, leva-nos a *liners* perfeitos para trabalhos de alta precisão e luvas revestidas.



Figura 3.2. Máquina de Tricotar (Shima Seiki SFG-I).

Cada uma destas máquinas de tricotar possui no seu interior dois tambores de seleção com sentidos de rotação opostos. A sua configuração é demonstrada pela Figura 3.4 apenas para um tambor e as suas dimensões são expostas na Figura 3.5. Ao longo de todo o comprimento do tambor existem cavidades livres que percorrem todo o seu diâmetro, estas cavidades correspondem ao número de agulhas utilizado para este jogo, dito isto, as agulhas encontram-se posicionadas paralelamente entre si e numa linha perpendicular ao tambor em cada instante. A Figura 3.3 mostra um operador a preencher uma banca de agulhas. É possível perceber o quão minucioso é este processo e qual a posição relativa das agulhas.



Figura 3.3. Posição relativa das agulhas, *jacks* e *control jacks* (Ansell, n.d.).

Quanto maior é o jogo a utilizar, menor vai ser o espaço entre agulhas, consequentemente maior será o número de agulhas, o que vai aumentar diretamente o refinamento da malha dos *liners* a produzir. Desta forma, a utilização dos diferentes tambores nas máquinas de tricotar vai estar dependente da procura em cada momento. Na empresa existem vários jogos de tambores podendo ir desde o jogo 10 com 53 agulhas até ao jogo 18 com 123 agulhas, por exemplo.

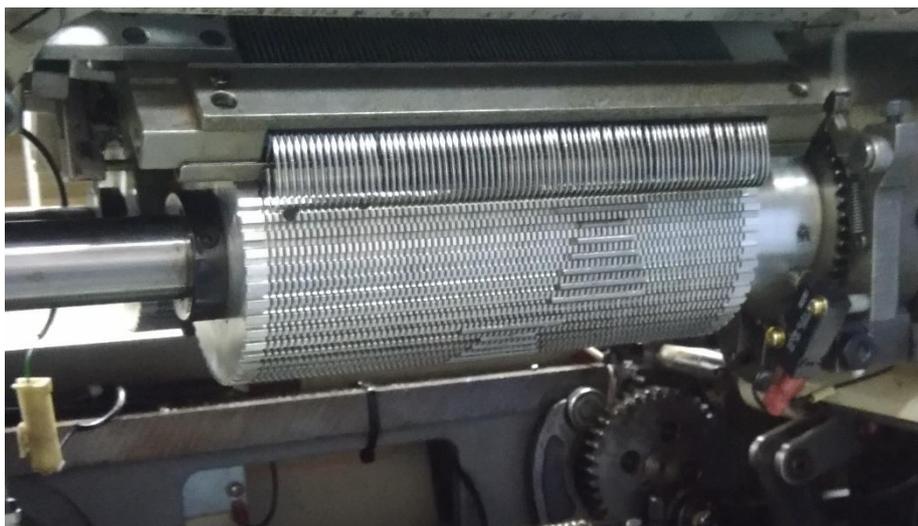


Figura 3.4. Tambor de Seleção (Jogo 13) composto por 84 agulhas.

Para perceber melhor todo o funcionamento da máquina de tricotar e o quão minucioso é o processo, a Figura 3.5 demonstra as dimensões essenciais associadas ao

tambor de seleção, deste modo percebe-se que a dimensão das cavidades livres ao longo da direção circunferencial do tambor é equivalente à largura dos dentes do tambor segundo o seu comprimento. A diferença entre os raios apresentados diz respeito à altura dos dentes, ou seja, 2,25 mm. Relativamente à cavidade destinada à colocação dos pinos esta tem 2,50 mm, já a distância que separa os pinos é de 2,18 mm.

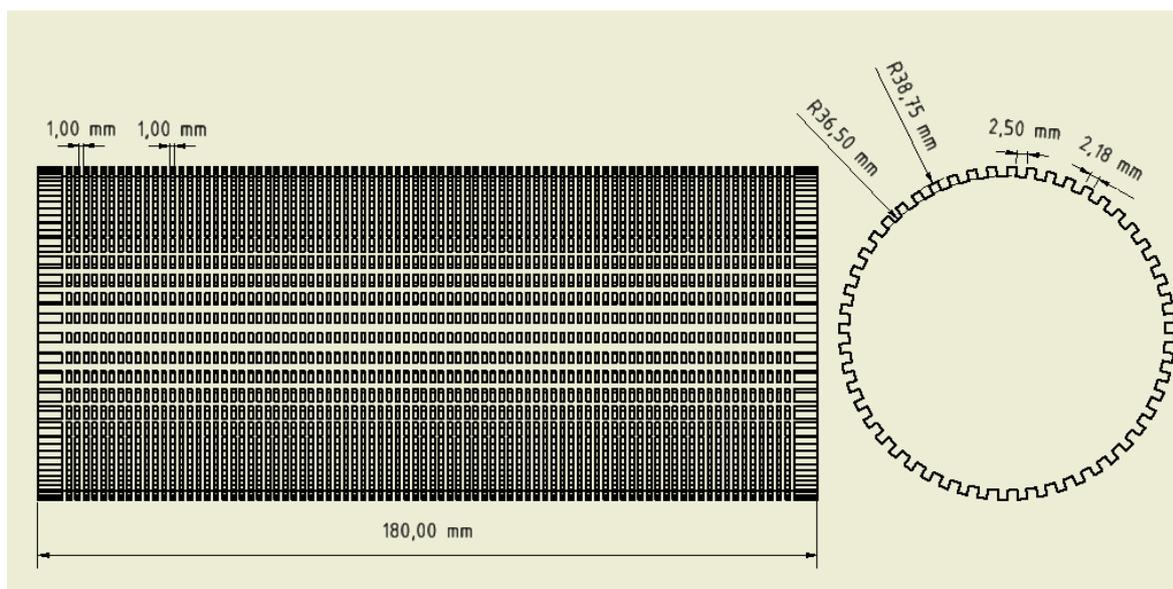


Figura 3.5. Dimensões essenciais do tambor de seleção do jogo 13.

Na Figura 3.6 (a) é apresentada esquematicamente a cama das agulhas onde se encontram discriminados e legendados os componentes essenciais à criação dos *liners*. Cada cavidade livre ao longo da direção circunferencial do tambor vai ser percorrida diretamente por um *control jack* através do movimento incremental (rotação) que é introduzido no tambor com a direção apresentada na Figura 3.6 (b). Com o objetivo de induzir movimento às agulhas durante a rotação do tambor, são introduzidas propositadamente restrições ao movimento de cada *control jack*, como se mostra a Figura 3.4. Atualmente para este efeito são utilizados pinos de aço amovíveis com 2,50 mm de diâmetro. Assim, quando algum *control jack* encontra um pino durante a rotação do tambor é obrigado a subir criando um movimento linear que é transmitido ao *jack* e por último à agulha através de contacto direto. O contacto é feito praticamente na perpendicular entre o *control jack* e os pinos, existe apenas um pequeno desfasamento angular de forma a facilitar a subida do *control jack* criado pela geometria deste, como mostra a Figura 3.6 (b).

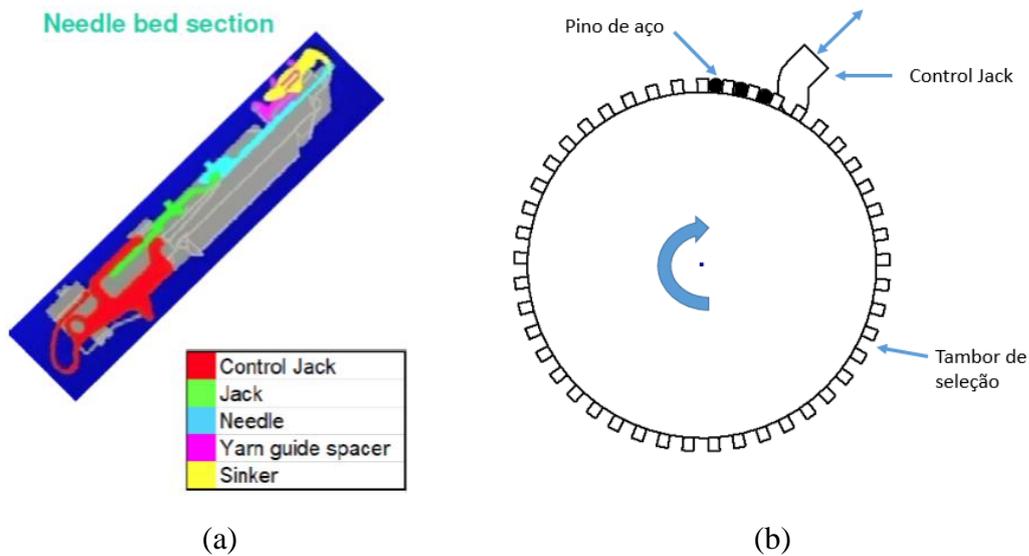


Figura 3.6. Funcionamento do mecanismo de transmissão de movimento: (a) Ligação linear das várias ferramentas (Ansell, n.d.); (b) Contacto e movimento relativo entre o tambor de seleção e os Control Jack, vista lateral.

Portanto, a função dos pinos de aço apresentados na Figura 3.4 é seleccionar as agulhas em ação em cada instante de rotação do tambor de seleção, controlando a geometria de cada *liner* produzido. Na Figura 3.7 é demonstrado o movimento sincronizado das agulhas, em função do contacto do respetivo *control jack* com os pinos fixados nos tambores de seleção. Quando este contacto não existe, as agulhas permanecem recolhidas e encontram-se fora de serviço.

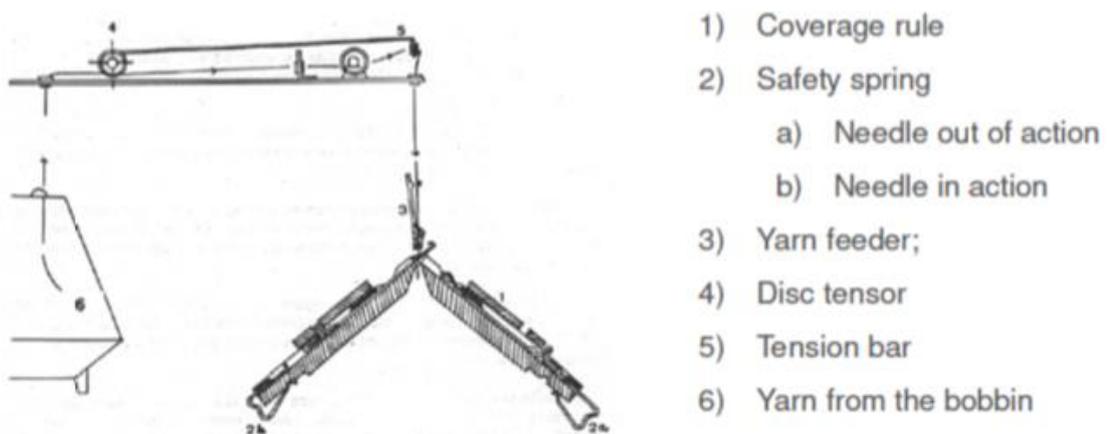


Figura 3.7. Demonstração em perspetiva do funcionamento interno da máquina de tricotar (Ansell, n.d.).

3.2. Setup atual

Para encontrar uma solução para a redução do tempo de *setup* é necessário conhecer todos os pormenores do atual sistema de funcionamento, de forma a categorizar as várias etapas necessárias e identificar aquela que consome mais recursos.

De acordo com a procura, por vezes é necessário alterar os tamanhos dos *liners* a produzir na mesma máquina. Para tal, mantendo os mesmos tambores de seleção, é necessário alterar a disposição dos pinos de aço nessa máquina de tricotar, possivelmente através do uso de uma configuração semelhante, no entanto utilizando pinos com tamanhos superiores ou inferiores, se o objetivo for aumentar ou diminuir o tamanho do *liner* a produzir, respetivamente. No ANEXO A é exemplificada uma possível reconfiguração, do jogo 13 L/M, D3 (Frente) para o jogo 13 L2/L3 D3 (Frente), verifica-se um aumento da largura do *liner* do primeiro para o segundo mapa de 5 agulhas. Todas estas configurações possíveis encontram-se registadas em mapas de pinos, sendo estes agrupados num único caderno que serve de auxílio a cada processo de *setup*.

Esta mudança de configuração é um trabalho bastante minucioso devido às dimensões, quer dos pinos quer dos espaços no tambor. Esta tarefa requer muita precisão e é indispensável recorrer ao mapa de pinos falado anteriormente, com o intuito de colocar cada pino no local exato. Como cada máquina tem no seu interior dois tambores de seleção existem dois mapas distintos para cada jogo de pinos, um referente ao tambor dianteiro e outro ao tambor traseiro. Este mapa encontra-se na íntegra no ANEXO B, no entanto é apresentada parte dele na Figura 3.8. No eixo horizontal do mapa está representada cada uma das cavidades vazias do tambor ao longo da sua periferia, correspondente ao número de agulhas presentes (este jogo tem 84 agulhas). No eixo vertical está representada cada uma das cavidades vazias ao longo do comprimento do tambor, destinadas à colocação dos pinos. O eixo vertical está relacionado com o perímetro do tambor de seleção, ou seja, as 55 cavidades livres ao longo do comprimento.

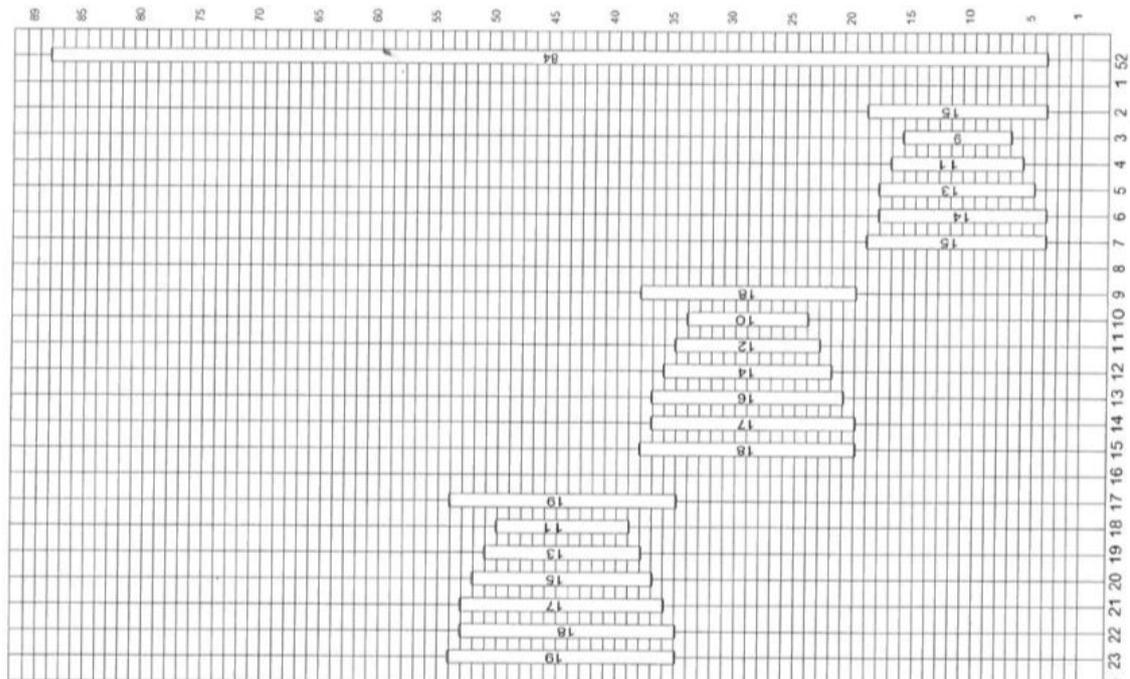


Figura 3.8. Parte do mapa utilizado para conseguir o posicionamento dos pinos corretamente, jogo 13 L2/L3 D3 (Frente) (Seiki, 2006).

Como já foi dito anteriormente, cada máquina tem no seu interior dois tambores de seleção, apresentados na Figura 3.9. Neste caso, o tambor dianteiro conta com 45 pinos de aço enquanto que o tambor de seleção traseiro apresenta 58 pinos. Esta contagem não contempla as duas linhas de pinos individuais, uma em cada tambor, ao longo do comprimento do cilindro. Estas são imutáveis aquando da reconfiguração e representam o início do mapa de pinos que é apresentado na Figura 3.8.

O processo de *setup* envolve a remoção de todos os pinos um a um e a limpeza dos tambores para que fiquem livres de resíduos e seja possível aplicar a nova configuração de pinos. Quando os pinos estão no início da sua vida, após encontrada a sua posição correcta no tambor de selecção, estes sofrem pequenas marteladas para ajudar à sua fixação nos rasgos do tambor. No entanto, depois de passarem por alguns processos de setup, para além disto, é utilizada cola para garantir que os pinos de aço subsistam imóveis durante o seu ciclo de trabalho, o que irá dificultar uma reconfiguração futura. Estas tarefas são realizadas apenas por uma pessoa e são atribuídas ao técnico especializado em máquinas Shima.

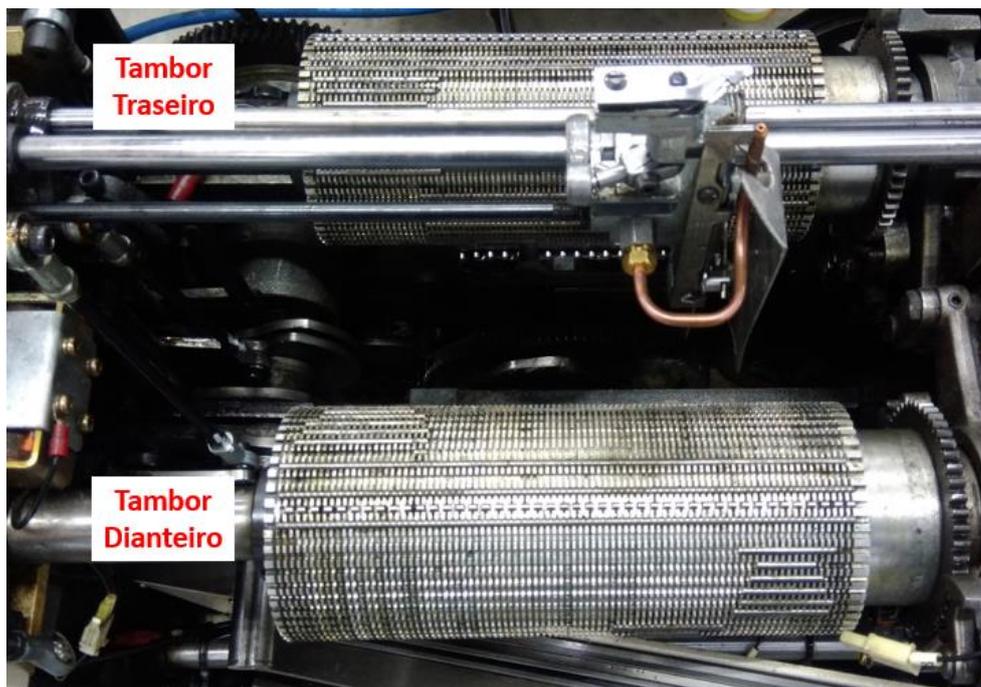


Figura 3.9. Tambores de seleção Máquina Shima Seiki SFG (jogo 13).

3.2.1. Tempo do setup atual

Para conseguir uma análise detalhada do processo de *setup* atual foi necessário recolher o máximo de informação relativamente aos seguintes aspetos:

- Sequência de operações efetuada;
- Duração das diferentes tarefas;
- Identificação de pontos críticos que reduzem a eficácia/eficiência do sistema produtivo, bem como as suas causas.

Quando é necessária a reconfiguração dos pinos numa máquina de tricotar é possível dividir este processo pelas diferentes tarefas discriminadas na Tabela 3.1.

Tabela 3.1. Tempo estimado de setup dividido pelas várias etapas durante a operação de reconfiguração dos pinos.

<i>Tarefa</i>	<i>Tempo (min)</i>	<i>Tempo (%)</i>
<i>Abertura das tampas da máquina</i>	15	3,57%
<i>Remoção dos pinos existentes inicialmente</i>	45	10,71%
<i>Limpeza dos Tambores</i>	30	7,14%
<i>Aplicação da nova configuração de pinos</i>	270	64,29%
<i>Afinações Finais</i>	30	7,14%
<i>Produção de um Liner e Validação</i>	10	2,38%
<i>Fechar a Máquina</i>	20	4,76%
<i>Tempo de setup</i>	420	100%

A estimativa do tempo necessário para a realização de cada tarefa é apresentada na Tabela 3.1 em minutos e a sua percentagem no processo de *setup* global. Com estes dados é possível identificar qual a tarefa que consome mais tempo e portanto a mais crítica do processo. Como é visível também no gráfico da Figura 3.10, a etapa que mais tempo desperdiça é a aplicação da nova configuração de pinos com 64% do tempo total. No entanto, a própria remoção dos pinos existentes inicialmente no tambor requer tempo em demasia, representando 11% do tempo total. No total são necessários 420 minutos, ou seja, o tempo médio de *change-over* é de 7 horas.

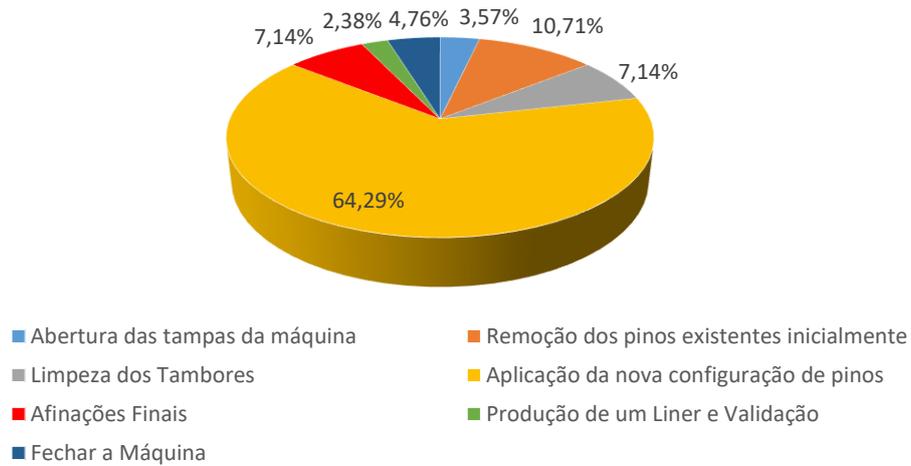


Figura 3.10. Distribuição do tempo que cada tarefa ocupa no presente processo de *setup*.

4. PROPOSTA DE ALTERAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

No decorrer deste capítulo serão apresentadas as propostas de melhoria, bem como todo um estudo sistemático efetuado com recurso a modelos de simulação numérica de forma a encontrar e comprovar a melhor solução.

Será ainda estimado o tempo de *setup* da solução proposta e comparado com o que é necessário atualmente.

4.1. Soluções propostas

De acordo com a metodologia *SMED*, depois de identificadas as atividades internas e externas, o segundo ponto diz respeito à conversão do número máximo de atividades internas em externas. No processo de *setup* em estudo, todas as tarefas são realizadas com a máquina parada, à exceção da produção e validação do primeiro *liner* da nova configuração. Não sendo possível a conversão de atividades internas em externas, resta apenas a simplificação das tarefas mais críticas.

Após a análise pormenorizada do processo de *setup* utilizado atualmente, e concluindo que a etapa que consome mais tempo é a reconfiguração dos pinos no tambor de seleção, percebeu-se que uma solução possível seria agrupar um certo número de pinos em matrizes, de forma a reduzir o número de peças a alterar em cada processo de *setup* e consequentemente o tempo de *setup* necessário.

Foram então criadas dois tipos diferentes de matrizes de pinos. A Matriz A utiliza uma camada fina para ligar os pinos pela base (ver Figura 4.1 (a)), enquanto que a Matriz B utiliza três ligações posicionadas de forma a ocupar três cavidades livres ao longo da circunferencial do tambor, envolvendo totalmente os pinos (ver Figura 4.1 (b)). Para ser possível esta conceção, foi necessário um estudo aprofundado do tambor de seleção do jogo 13 e dos pinos de aço usados. Na Figura 4.1 (c) são apresentadas as dimensões básicas da Matriz A, podendo, aquando da sua conceção, alterar a largura e o raio do pino. A Matriz B, em termos de largura e altura tem exatamente as mesmas dimensões da Matriz A, no entanto, o pino vai ser um cilindro com 2,5 mm de diâmetro e as ligações entre eles têm 1 mm de

largura. Percebeu-se que era obrigatório existir grande precisão dimensional, caso contrário o processo poderia não resultar.

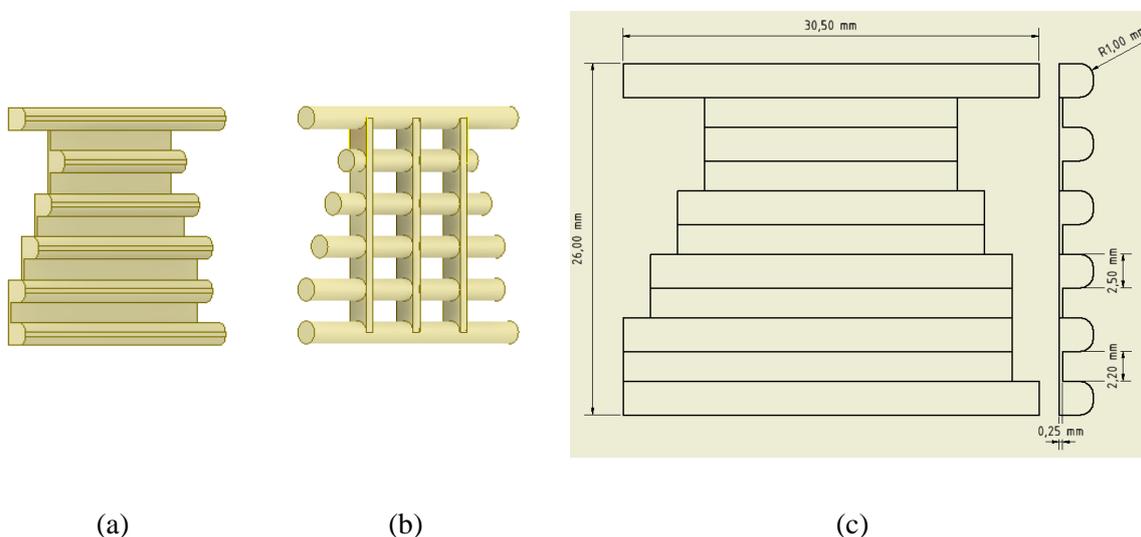


Figura 4.1. Matrizes criadas: (a) Matriz com ligação na base dos pinos (Matriz A); (b) Matriz com três ligações (Matriz B); (c) Dimensões base da Matriz A.

4.1.1. Material escolhido

Aquando da criação de ambas as matrizes, foi necessário escolher de entre os materiais possíveis na biblioteca do Autodesk Inventor aquele que permitia alguma flexibilidade conjugada com uma boa resistência mecânica. Sem esta flexibilidade não seria possível o encaixe de qualquer uma destas matrizes no tambor, já que existe a necessidade de ser criada uma curvatura de acordo com o diâmetro do tambor de seleção. O material escolhido foi o *Nylon 6/6* que apresenta o comportamento de tensão-deformação representado pela linha verde no gráfico da Figura 4.2. Esta curva que descreve o comportamento de tensão-deformação do *Nylon* foi transportada para o Autodesk Nastran In-CAD, permitindo fazer uma análise não-linear estática de ambas as matrizes e posteriormente do seu encaixe no tambor de seleção, de forma a obter valores próximos dos reais. Algumas das características deste material foram já apresentadas no enquadramento teórico na secção 2.5.

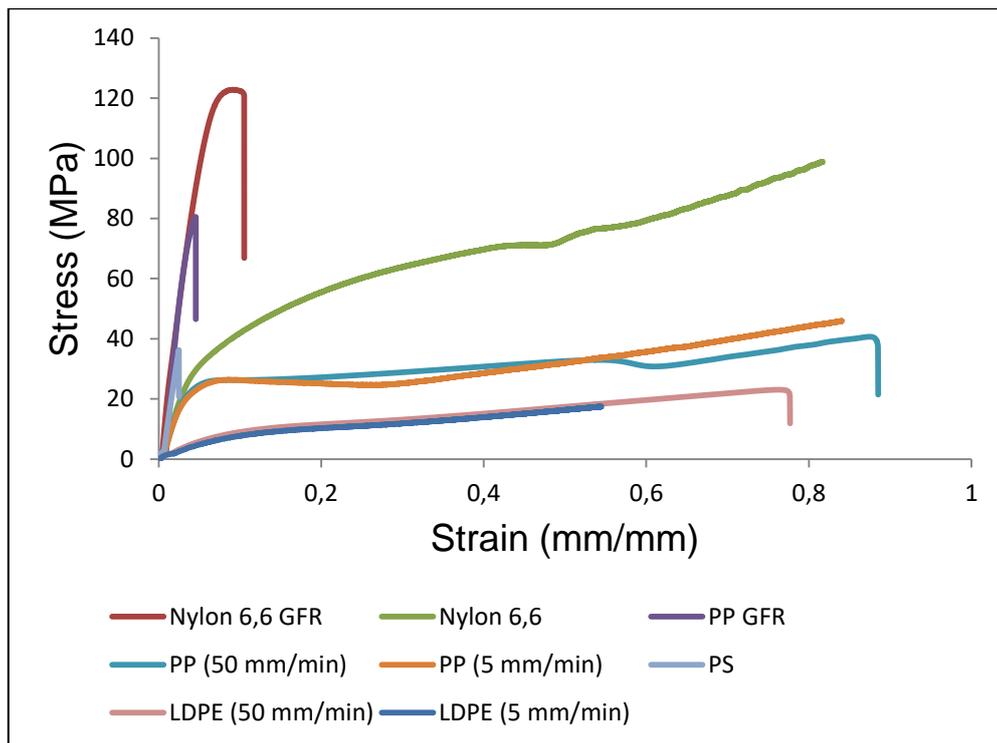


Figura 4.2. Gráfico do comportamento de tensão real -deformação (Alzayer, Clay, & Shen, 2014).

4.1.2. Comportamento mecânico das matrizes

Depois de criadas as duas matrizes, para que se escolhesse com segurança uma delas como solução, foi fundamental o uso do Autodesk Nastran In-CAD, *software* com capacidade para realizar simulações não lineares estáticas. Ambas as matrizes foram sujeitas a esforços nas diversas direções de forma a perceber qual delas se enquadrava melhor na solução pretendida.

A primeira solicitação criada foi uma força de tração de 20 N, aplicada na face superior de ambas as matrizes com a direção contrária ao eixo do X. Em relação às condições de fronteira, foi fixada a face inferior e oposta à aplicação da força. Após a simulação foram obtidos os resultados apresentados na Figura 4.3 para a Matriz A e na Figura 4.4 para a Matriz B.

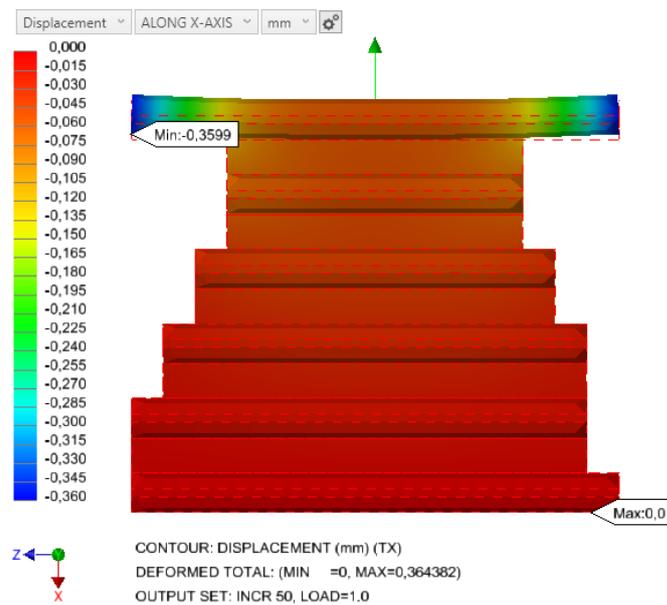


Figura 4.3. Distribuição do deslocamento ao longo do eixo X para a Matriz A solicitada verticalmente segundo X com 20 N.

De acordo com a Figura 4.3, a zona mais crítica da matriz é o pino onde é aplicada a força, mais precisamente a zona onde deixa de estar ligado pela base, como seria de esperar. Nesta zona o deslocamento máximo resultante da força aplicada é de 0,360 mm (negativo porque a força foi aplicada no sentido contrário ao eixo do X).

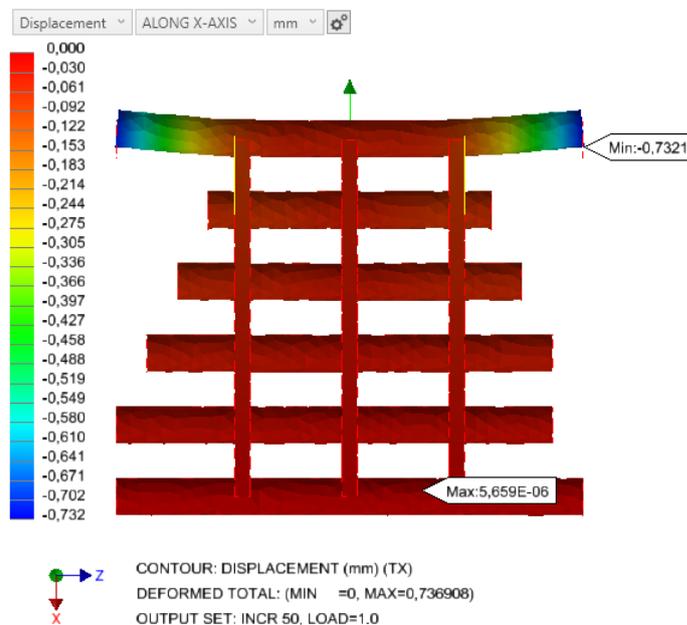


Figura 4.4. Distribuição do deslocamento ao longo do eixo X para a Matriz B solicitada verticalmente segundo X com 20 N.

Pela Figura 4.4, percebe-se que a zona mais crítica é equivalente à da Matriz A, no entanto, para a mesma carga de 20 N o deslocamento resultante é de 0,732 mm, aproximadamente o dobro do apresentado na Figura 4.3. Esta diferença acontece porque ao fazer uma ligação na base consegue-se utilizar mais material, ou seja, as ligações podem ir no limite até à largura máxima dos pinos. Já na Matriz B, estas têm sempre de ser restringidas ao número de agulhas que passará no menor pino, isto é, à largura deste.

A segunda solicitação utilizada foi uma força de flexão de 0,1 N aplicada novamente na face superior, neste caso segundo a direção Y. A restrição utilizada foi a fixação da face inferior. Nas Figura 4.5 e Figura 4.6, são apresentados os resultados destas simulações para a Matriz A e B respetivamente.

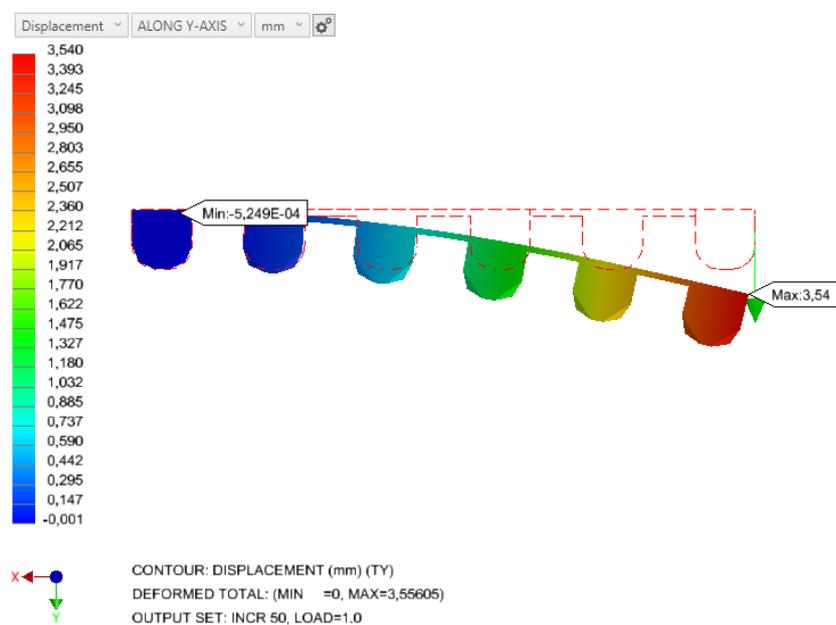


Figura 4.5. Distribuição do deslocamento ao longo do eixo Y para a Matriz A solicitada verticalmente na face superior segundo Y com 0,1 N.

Como é visível na Figura 4.5, esta matriz tem pouca resistência à flexão, visto que, com apenas uma força de 0,1 N é produzido um deslocamento máximo de 3,54 mm. Este facto deve-se à necessidade de utilizar uma espessura muito reduzida na ligação dos pinos devido às tolerâncias apertadas da máquina de tricotar. Portanto como existe uma diferença muito grande entre essa espessura e o comprimento da matriz, a resistência à flexão é muito reduzida.

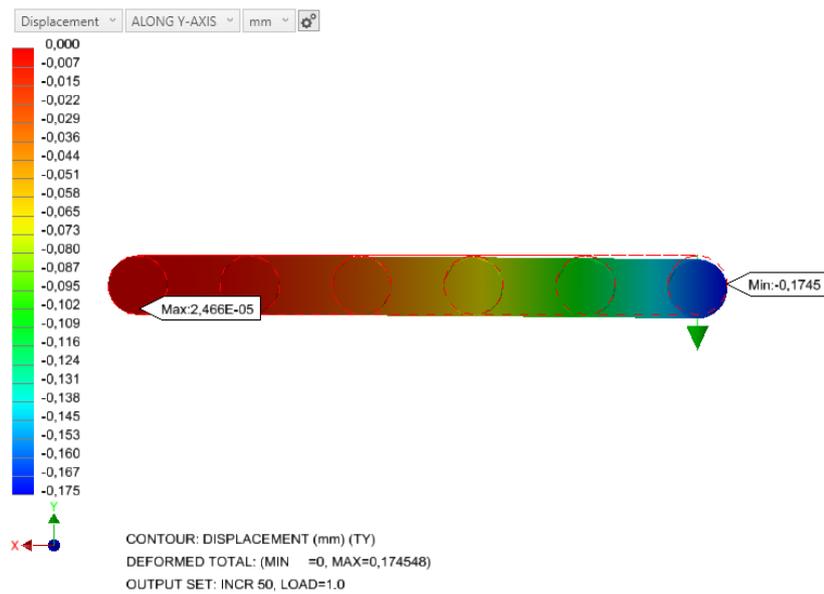


Figura 4.6. Distribuição do deslocamento ao longo do eixo Y para a Matriz B solicitada verticalmente na face superior segundo Y com 0,1 N.

No caso da matriz B, de acordo com a Figura 4.6, o deslocamento máximo imposto pela força 0,1 N no sentido contrário ao Y, apenas produz um deslocamento de 0,175 mm o que comparando com o valor resultante da Figura 4.5 é muito reduzido. É possível concluir que esta matriz tem uma resistência à flexão muito superior. Apresentar uma resistência à flexão baixa não é um entrave ao seu desenvolvimento na solução em questão, já que é obrigatório fletir até conseguir a curvatura do tambor de seleção, aquando da sua aplicação. Desta forma esta característica não é uma desvantagem da Matriz A.

A terceira e última solicitação imposta nas matrizes foi a aplicação de uma força de 20 N na face superior de ambas as matrizes, com a direção do eixo do Z. De novo a restrição utilizada foi manter a face inferior fixa para ambas as matrizes. Nas Figura 4.7 e Figura 4.8, são apresentados os resultados da simulação para as matrizes A e B, respetivamente.

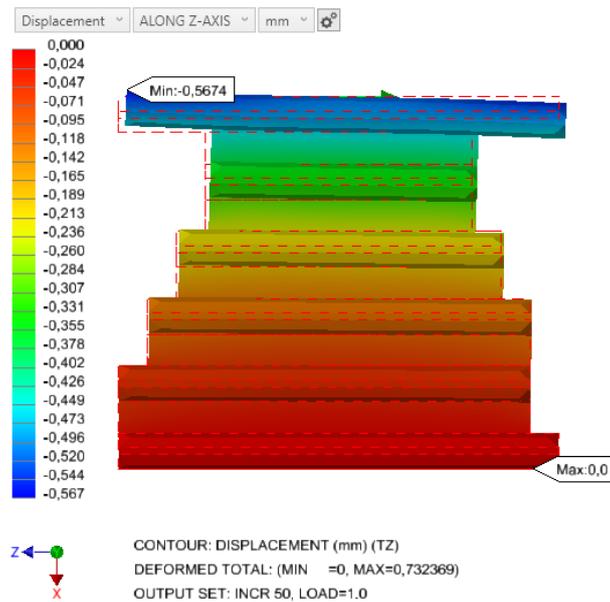


Figura 4.7. Distribuição do deslocamento ao longo do eixo Z para a Matriz A solicitada horizontalmente na face superior segundo Z com 20 N.

Relativamente à Figura 4.7, é possível verificar que com a aplicação de uma força de 20 N com sentido oposto ao eixo do Z, o deslocamento máximo resultante na estrutura da matriz foi 0,567 mm.

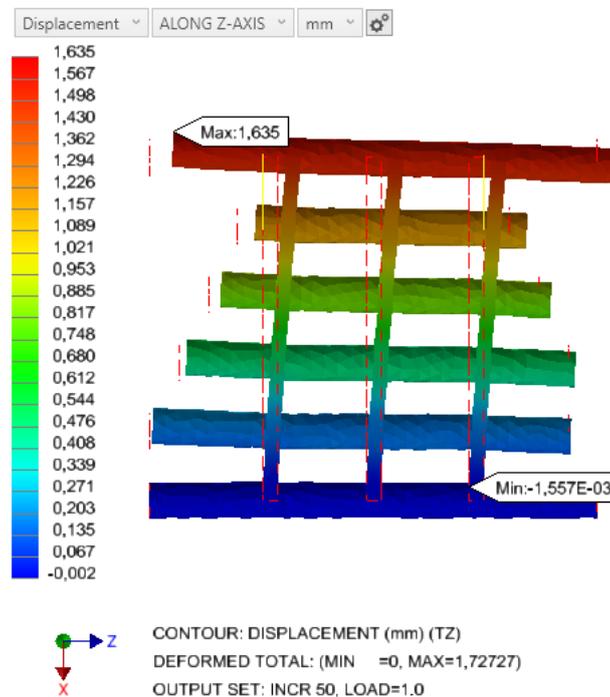


Figura 4.8. Distribuição do deslocamento ao longo do eixo Z para a Matriz B solicitada horizontalmente na face superior segundo Z com 20 N.

Já na Figura 4.8, com os mesmos 20 N de força aplicados, o deslocamento máximo da estrutura foi de 1,635 mm. Comparando os deslocamentos criados percebe-se que o deslocamento na Matriz B é aproximadamente três vezes superior ao que se verifica na Matriz A. A maior rigidez da Matriz A é uma vantagem uma vez que a posição longitudinal dos pinos é fundamental para garantir a precisão do produto final.

Com estes dados pode-se concluir que a Matriz A é uma solução mais compacta, apresenta maior resistência quando solicitada nas direções X e Z. A sua resistência à flexão ser menor apresenta-se como uma vantagem, visto que, na montagem é importante esta característica para facilitar o encaixe no tambor.

A Matriz B poderia tornar-se mais compacta, bastaria aumentar o número de ligações até ao número de agulhas que iriam ter contacto com o menor pino, ou seja, o número máximo de ligações teria de ser o mesmo que o número de cavidades do tambor paralelas e em contacto com o menor pino. Desta forma a matriz seria mais compacta, no entanto a sua aplicação seria dificultada.

Depois de analisadas todas as características e apresentadas todas as vantagens e desvantagens das duas propostas de melhoria, foi escolhida a matriz com ligação na base dos pinos (Matriz A) para ser implementada. A partir deste ponto vão ser estudadas ainda melhorias possíveis nesta matriz.

4.2. Simulação do encaixe da matriz

A geometria da matriz em estudo permite que nesta fase de simulação se considere apenas uma parte da matriz, o que facilita e acelera a resolução do problema. Dito isto, foi considerado para o encaixe no tambor apenas uma parte de um pino, ou seja, na direção Y, foi utilizado apenas 1 mm do pino, para tal foi necessário utilizar condições de simetria nesta direção nas duas faces da matriz e do tambor. Segundo a direção X, como o pino era simétrico, bastou utilizar metade dele na simulação e para tal aplicar uma condição de simetria segundo esta direção em ambas as faces da matriz e do tambor de seleção. Por último, para que fosse possível a simulação foi aplicada ainda uma simetria segundo Z na face superior da matriz e inferior do tambor. Esta secção em estudo aparece apresentada na Figura 4.9, bem como todas as condições de fronteira utilizadas.

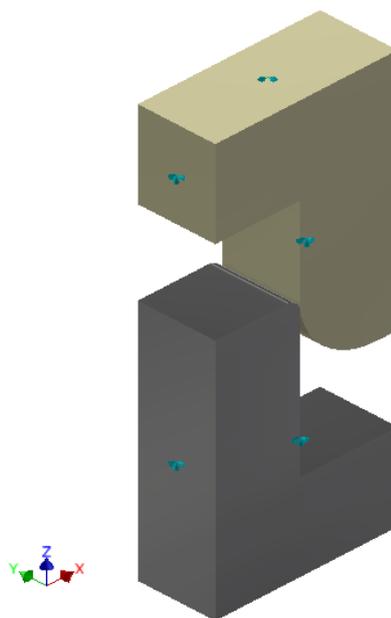


Figura 4.9. Secção da matriz e do tambor utilizada para simular o seu encaixe.

De forma a corresponder à realidade, para a secção do tambor de selecção, representada a cinzento na Figura 4.9, foi escolhido como material um aço inoxidável. Como se trata de um problema de contacto entre a matriz (Nylon 6/6) e o cilindro (Aço inoxidável) é relevante saber a gama de coeficiente de atrito que o descreve. De acordo com (“Nylon (PA) – INCOMPLAST,” n.d.) o coeficiente de atrito previsto entre estes materiais está na gama de 0,32 a 0,40. A cavidade do tambor destinada ao encaixe de cada pino tem 2,5 mm de largura, numa primeira fase para fazer a optimização de malha, estudar a influência do atrito e relacionar o encaixe com o desencaixe da matriz, a largura do pino da matriz vai ter 2,52 mm, ou seja, vai apresentar um excesso de material de 0,01 mm de cada lado, de forma a criar uma resistência ao desencaixe da matriz.

4.2.1. Optimização da malha de elementos finitos

Este ponto do trabalho tem como objetivo a optimização da malha de elementos finitos a usar para descrever corretamente as geometrias da matriz e do tambor, de modo que os resultados da simulação sejam fiáveis sem a utilização de tempo excessivo.

Para a realização deste objetivo foram comparadas diferentes malhas, de forma a perceber a que apresenta melhor relação entre resultados obtidos e tempo de simulação. A primeira malha foi gerada por defeito pelo *software* e mostra-se pouco refinada. No processo de optimização da malha foram identificadas as zonas mais críticas, aquelas que apresentam

maior tensão, deformação e onde um refinamento da malha traz grandes vantagens na definição correta da geometria e na distribuição dos esforços.

Após uma primeira simulação com a malha gerada por defeito foi detetada como sendo a zona mais crítica no tambor a curvatura do dente onde se dá o início do contacto com a matriz, representada no APÊNDICE A. Portanto foi necessário reduzir o tamanho dos elementos finitos nesta zona para solucionar o problema. Para além da curvatura foi ainda aumentado o número de elementos nas zonas de contacto com a matriz, ou seja, na parede vertical e nas duas secções horizontais.

Na matriz, a zona com maior deformação, referente à parede vertical que contacta com o tambor foi identificada como sendo a área mais crítica, exibida no APÊNDICE B, portanto, foi diminuído o tamanho de elemento dessa zona, assim como das duas secções horizontais responsáveis pelo último contacto quando é realizado o encaixe completo.

No processo de otimização da malha foram criadas sete malhas distintas, desde a malha 1 até à malha 7, aumentando o número de elementos nas zonas críticas apresentadas. No gráfico da Figura 4.10 é apresentada a evolução da força de reação no topo da matriz durante o processo de encaixe completo para cinco das sete malhas criadas, as mais relevantes para encontrar uma convergência.

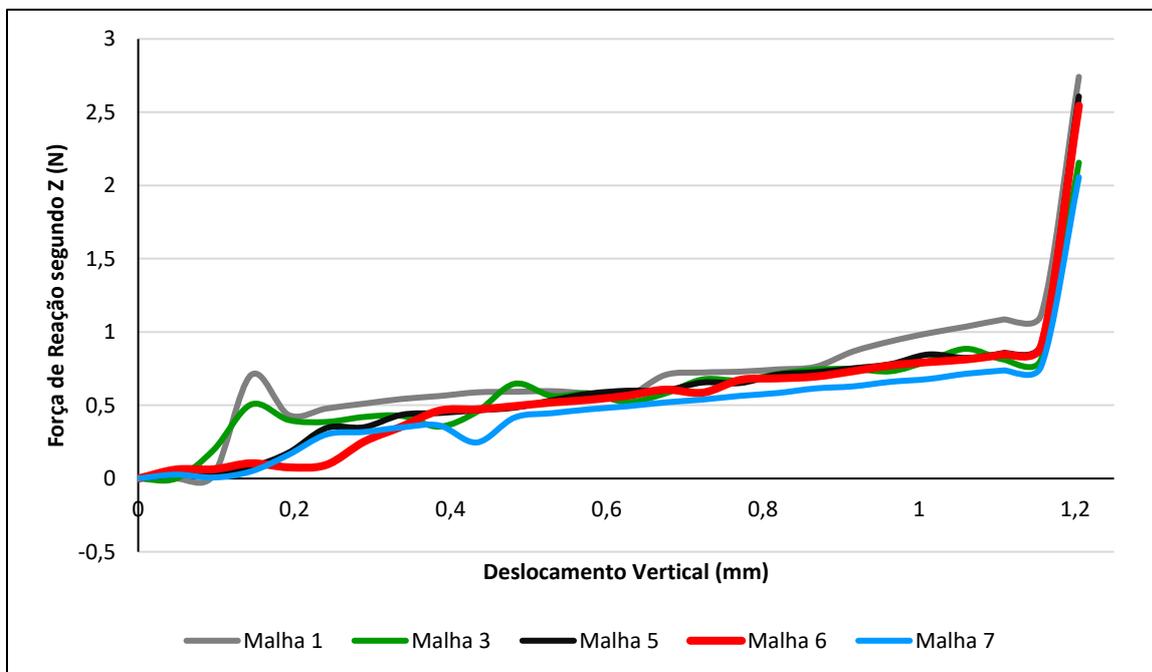


Figura 4.10. Evolução da força de reação na matriz em função do deslocamento vertical para as diferentes malhas utilizadas.

Analisando o gráfico da Figura 4.10, a curva designada por malha 1 mostra a força de reação na matriz utilizando a malha gerada por defeito, apresenta um crescimento bastante irregular, principalmente numa primeira fase onde acontece o primeiro contacto com a curvatura do dente do tambor, como foi visto, mal definido com esta malha.

Após o aumento gradual do número de elementos de malha para malha, verifica-se que a partir da malha 5 existe já alguma convergência de resultados. Como era de esperar, com o aumento do número de elementos finitos o tempo de simulação também aumentou. O aumento acentuado da força no final do processo de encaixe resulta do contacto entre a matriz e o tambor nas zonas de superfície horizontal.

Observando a evolução da curva da Figura 4.11 que representa a evolução do tempo de simulação em função da malha utilizada, percebe-se que até à malha 6 existe um aumento gradual do tempo de simulação, no entanto é compensado com a melhoria dos resultados obtidos, já a utilização da malha 7 foi posta de parte, visto que, a melhoria de resultados já não é significativa e o tempo de simulação cresce exponencialmente para perto de uma hora.

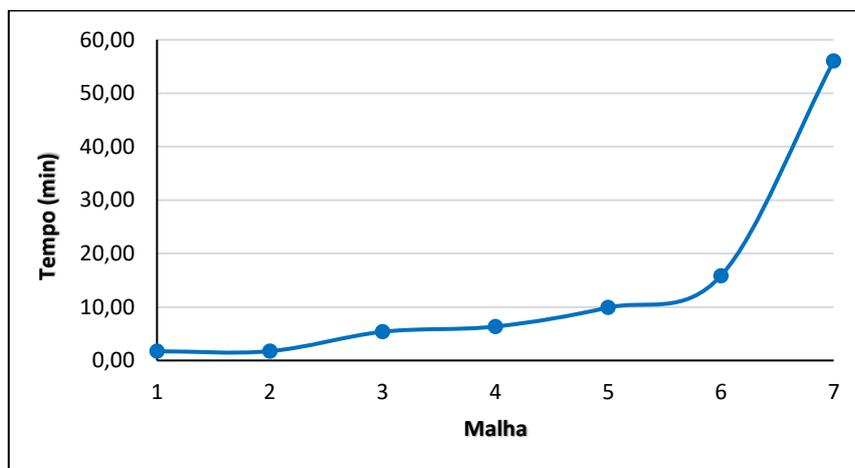


Figura 4.11. Evolução do tempo de simulação para diferentes malhas de elementos finitos.

Depois de feito este balanço, percebeu-se que deve existir um compromisso entre a qualidade dos resultados obtidos e o tempo que leva para os conseguir, dito isto a malha que melhor satisfaz esta condição é a malha 6. Esta malha é apresentada na Figura 4.12, contemplado 5747 elementos finitos tetraédricos lineares, e foi utilizada nos processos de simulação que se seguem.

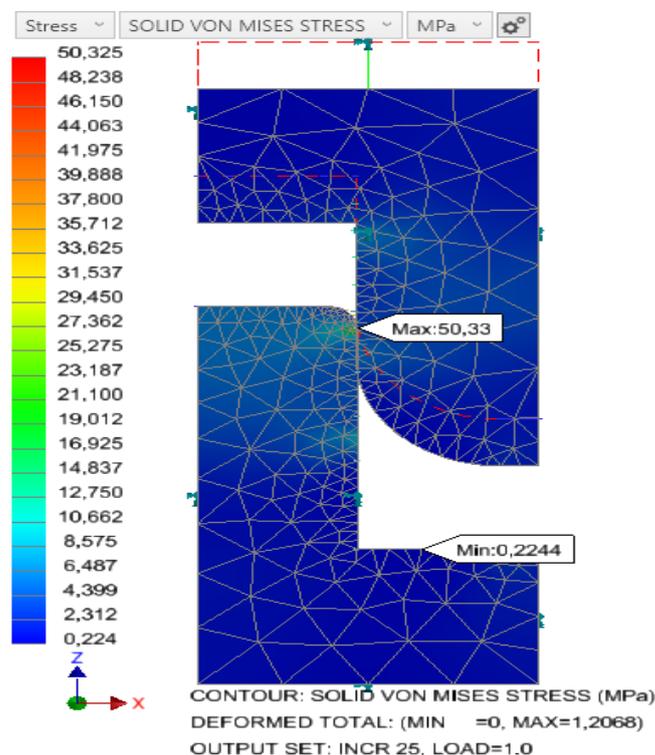


Figura 4.12. Distribuição da tensão equivalente prevista pela simulação do encaixe já com a malha refinada 6.

4.2.1. Relação da força de encaixe e desencaixe da matriz

Como foi descrito, no processo de *setup* atual, para a fixação dos pinos de aço no tambor é utilizada cola para garantir que estes subsistam imóveis em todo o processo. O que se pretende é que com a criação da matriz em estudo o uso da cola passe a ser dispensável, para tal, é obrigatório garantir que a força necessária para remover a matriz do tambor seja elevada o suficiente para a manter imóvel durante todo o processo.

Para a simulação completa do encaixe e posterior desencaixe da matriz no tambor foi considerada uma largura de 2,52 mm para o pino de *nylon*, como a cavidade do tambor tem de largura 2,50 mm, vai existir um excesso de material de 0,01 mm de cada lado do contacto. Foi ainda considerado para esta análise um coeficiente de atrito de 0,1 no contacto entre o *nylon* da matriz e o aço inoxidável do tambor.

A Figura 4.13 apresenta a evolução da força de reação na matriz ao longo de todo o processo de encaixe e desencaixe. Nesta análise vai ser desprezado o ponto correspondente ao contacto entre a base da matriz e a base do tambor, ponto este que representa o pico de força de reação devido ao impacto que acontece. Considerando a força máxima imediatamente antes deste ponto, na Figura 4.13 corresponde a 1 N e comparando

com a força máxima de desenganche que, em valor absoluto, corresponde também a cerca de 1 N, percebe-se que as forças de reação associadas ao encaixe e desenganche são idênticas. No entanto, quando começa o processo de desenganche o sentido da força de reação muda e passa a ser negativo, devido à mudança de sentido do deslocamento vertical da matriz. Com estes dados, nas simulações que se seguem basta estudar a fase de encaixe.

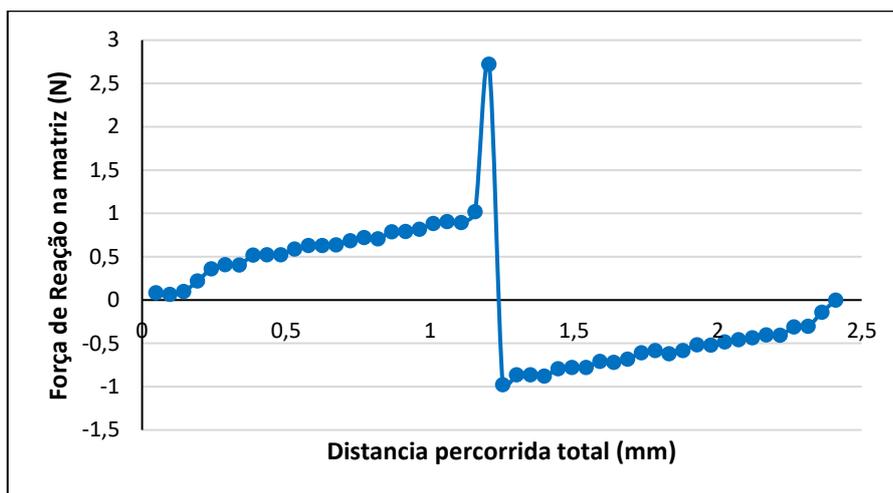


Figura 4.13. Evolução da força de reação na matriz durante o seu processo de encaixe e desenganche no tambor de seleção.

4.2.2. Efeito do coeficiente de atrito

Neste ponto pretende-se estudar a influência da alteração do coeficiente de atrito entre o aço inoxidável do tambor de seleção e o *nylon* da matriz na força de reação criada na matriz aquando do seu encaixe completo. Esta influência é apresentada na Figura 4.14 para quatro valores de coeficiente de atrito estudados.

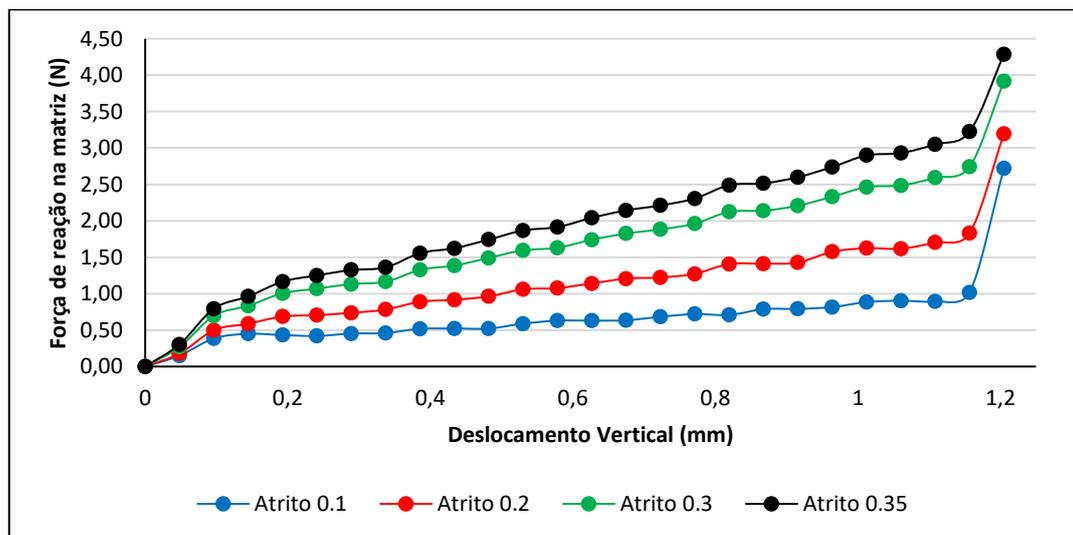


Figura 4.14. Evolução da força de reação na matriz para os diferentes atritos testados.

Para ser possível fazer uma comparação das forças de reação para os diferentes coeficientes de atrito estudados é obrigatório observar o encaixe completo, para que as faces em contacto e com atrito entre si sejam percorridas na íntegra. Desta comparação exclui-se o último ponto de cada curva presente na Figura 4.14, já que, neste ponto para além do contacto por deslizamento nas paredes verticais acontece o contacto final por impacto entre as faces horizontais da matriz e do tambor, por este motivo existe um aumento brusco da força de reação nesta fase, não sendo um bom ponto de comparação.

A influência do coeficiente de atrito na força de reação deve ser estudada no penúltimo ponto de cada curva, neste já aconteceu praticamente todo o contacto por deslizamento nas faces verticais, portanto já é possível verificar a sua influência no processo de encaixe.

De acordo com a Figura 4.14, verifica-se que um aumento do coeficiente de atrito para o dobro, de 0,1 para 0,2, leva, aproximadamente a um aumento da força de reação para o dobro também. Comparando a força de reação entre um atrito de 0,1 e 0,3 percebe-se que esta aumenta para próximo do triplo. Deste modo pode-se afirmar que existe uma relação aproximadamente linear entre o coeficiente de atrito e a força de reação.

4.2.3. Otimização da geometria da matriz

Como já foi dito anteriormente é importante controlar a força de reação na matriz no final do encaixe no tambor. Esta força pode ser alterada através da modificação da geometria do pino a encaixar, quer aumentando a sua largura quer aumentando a área de contato com o tambor. Na definição deste contacto entre o *nylon* da matriz e o aço inoxidável do tambor é considerado um coeficiente de atrito de 0,35, pertencente à gama esperada para estes materiais e apresentada anteriormente (3,2 a 4).

Na Figura 4.15 é apresentada a evolução da força de reação ao longo da montagem para três larguras diferentes do pino da matriz. Como a cavidade de encaixe no tambor tem 2,50 mm de largura, ao aumentar a largura da matriz de 2,52 mm para 2,53 mm e 2,54 mm, o excesso de material de cada lado do contacto vai passar de 0,01 mm para 0,015 mm e por fim 0,02 mm, respetivamente.

Mais uma vez, fazendo a comparação de resultados através do penúltimo ponto de cada curva da Figura 4.15, pontos estes imediatamente antes do encaixe completo sem contemplar ainda o contacto entre as bases. Percebe-se que quando o excesso de largura do

pino aumenta para o dobro, de uma largura de 2,52 mm para 2,54 mm, a força de reação na matriz tem um aumento equivalente, ou seja, passa de 3,22 N para 6,50 N. Portanto existe uma relação muito próxima do linear entre a variação da largura em excesso e a força de reação da matriz.

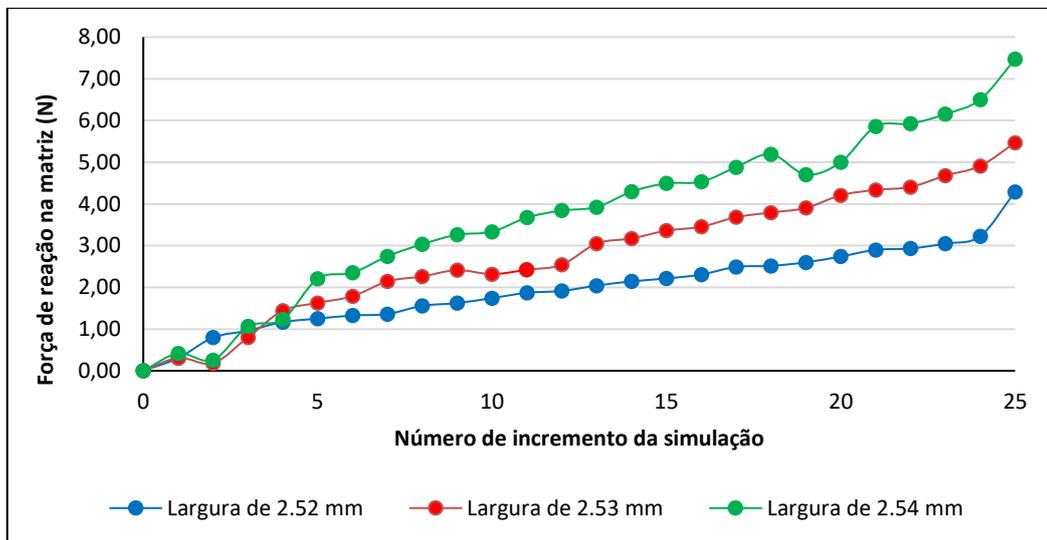


Figura 4.15. Evolução da força de reação na matriz para as diferentes larguras do pino.

Outra característica que pode ser manipulada na geometria da matriz é o raio do arredondamento na ligação entre a face vertical e base do pino. Este arredondamento terá sempre de existir para facilitar a montagem, no entanto, a sua variação faz alterar o comprimento da face vertical da matriz e consequentemente a área de contacto entre a matriz e face vertical do dente do tambor. Estas diferentes geometrias são apresentadas na Figura 4.16.

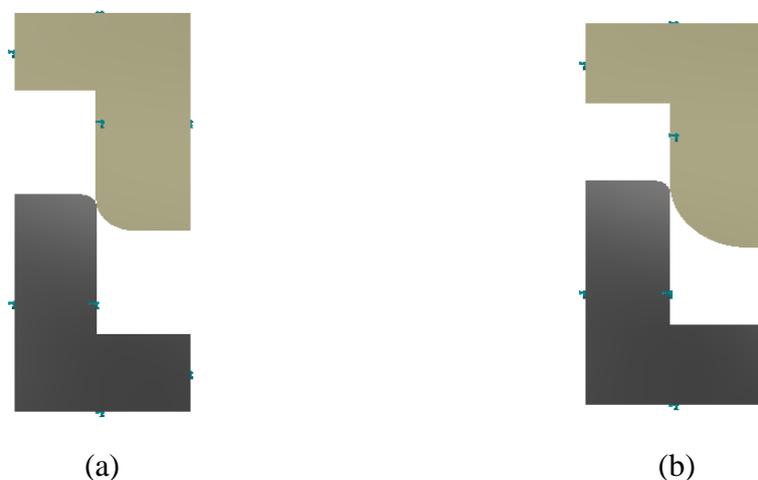


Figura 4.16. Geometria da matriz: (a) Arredondamento de 0,5 mm na base; (b) Arredondamento de 1 mm na base.

Para cada geometria da matriz criada é possível calcular a área de contacto, basta ao comprimento vertical da face, que vai ter contacto, até ao início do arredondamento na matriz tirar o raio de 0,2 mm, que é o utilizado no arredondamento do dente do cilindro. Desta forma encontra-se a área de contacto desta secção, já que na profundidade de ambas as peças é 1 mm. Estas áreas para cada raio de arredondamento são apresentadas na Tabela 4.1.

Tabela 4.1. Área de contacto entre a secção da matriz e do tambor correspondente ao raio de arredondamento.

<i>Raio do arredondamento (mm)</i>	<i>Área de contacto (mm²)</i>
0,5	1,55
1	1,05

Como era de esperar, com a redução do raio de arredondamento de 1mm para 0,5 mm, significa um aumento da área de contacto, concretamente de 1,05 mm² para 1,55 mm², este aumento tem influência na força de reação na matriz.

Para uma largura do pino de 2,52 mm foi estudada a evolução da força de reação para cada raio de arredondamento da matriz testado, esta evolução é apresentada na Figura 4.17.

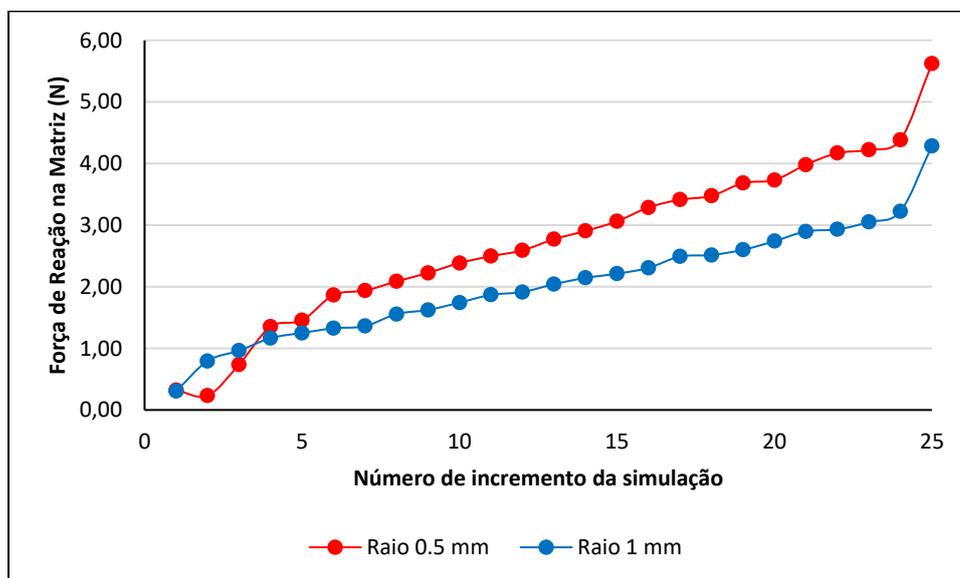


Figura 4.17. Evolução da força de reação na matriz para os seus diferentes raios de arredondamento.

De acordo com a Figura 4.17, com o decréscimo do raio de arredondamento para metade e consequentemente com o aumento da área de contacto, a força de reação apresenta

um aumento significativo, isto acontece pelo facto de o coeficiente de atrito atuar numa área maior e criar uma força de atrito mais elevada, esta reflete-se na força de reação.

A escolha da melhor geometria a utilizar nos pinos da matriz é baseada na criação de uma força de reação aceitável, ou seja, tem de ser elevada o suficiente para que a matriz subsista imóvel no tambor de seleção durante o processo. No entanto, é necessário que possibilite um encaixe simples.

Como já foi referido anteriormente, o coeficiente de atrito a utilizar entre a matriz e o tambor é 0,35, valor pertencente à gama esperada para este contacto.

A Tabela 4.2 apresenta a força de reação total presente na primeira matriz do jogo 13 L2/L3, D3 (Frente), representada a vermelho na Figura 4.18, fazendo variar os três fatores possíveis com influencia direta no cálculo desta força. Partindo da secção simulada, multiplicando o valor da força por 2 para referir a largura do pino completo, multiplicando este valor pelo comprimento de cada pino, somando a força para todos os pinos da matriz e por último dividindo por 2 para dispensar as cavidades livres do tambor, já que têm a mesma largura dos dentes, chega-se à força de reação do encaixe de uma matriz completa no tambor de seleção.

Tabela 4.2. Força de reação total de uma matriz para três combinações possíveis de características de um pino.

<i>Força de Reação Total (N)</i>	<i>Largura do Pino (mm)</i>	<i>Coefficiente de Atrito</i>	<i>Raio de Arredondamento (mm)</i>
738,76	2,52	0,35	1
1004,28	2,52	0,35	0,5
2008,56	2,54	0,35	0,5

Analisando a Tabela 4.2, percebe-se o quanto pode variar a força de reação com a alteração da geometria. A última geometria apresenta uma força demasiado elevada para possibilitar um encaixe simples da matriz no tambor, portanto foi descartada. As primeiras duas apresentam forças de reação relativamente próximas, no entanto decidiu-se optar pela segunda, ou seja, largura de pino de 2,52 mm, coeficiente de atrito de 0,35 e raio de arredondamento de 0,5 mm, para garantir que a força de desencaixe seja elevada o suficiente. Dividindo o valor total pelo número de pinos da matriz, ou seja, 1004,28 N por 6 pinos,

obtém-se o valor de 167,38 N que corresponde a cerca de 17 kgf necessários para desencaixar um pino do tambor, o que pareceu um valor aceitável.

Depois de escolhida a geometria ideal do pino da matriz foram criadas as restantes matrizes possíveis para completar o jogo 13 L2/L3, D3 (dianteiro e traseiro).

4.3. Setup proposto

O processo de *setup* proposto consiste num misto entre a utilização das matrizes criadas e apresentadas anteriormente e alguns pinos de aço individuais que pela sua localização no tambor não permitiam o seu agrupamento com outros.

Na Figura 4.18 é apresentado parte do mapa proposto para ser utilizado quando houver necessidade de fazer uma reconfiguração dos pinos para o jogo 13 L2/L3, D3 (Frente), o restante mapa e o referente ao tambor traseiro são apresentados no APÊNDICE C.

Neste mapa proposto, as unidades referentes às medidas apresentadas a preto e azul dizem respeito às cavidades livres no comprimento do tambor, ou seja, ao número de agulhas que atua em cada tambor. Os pinos pintados a cinza, no caso da Figura 4.18 o primeiro e único, são os casos de pinos que são mantidos da configuração atual, já que existe uma linha vazia entre ele e a primeira matriz, representada pela linha a preto, que não permite a sua ligação. Este pino tem um comprimento correspondente a 84 cavidades, ou seja, terá obrigatoriamente de as restringir de forma a ativar 84 agulhas simultaneamente num determinado instante de rotação do tambor.

Existe uma cavidade livre na vertical e uma na horizontal entre a primeira matriz a vermelho e a segunda a verde, como é representado na Figura 4.18 e reforçado com a demonstração deste jogo para a configuração atual na Figura 4.19.

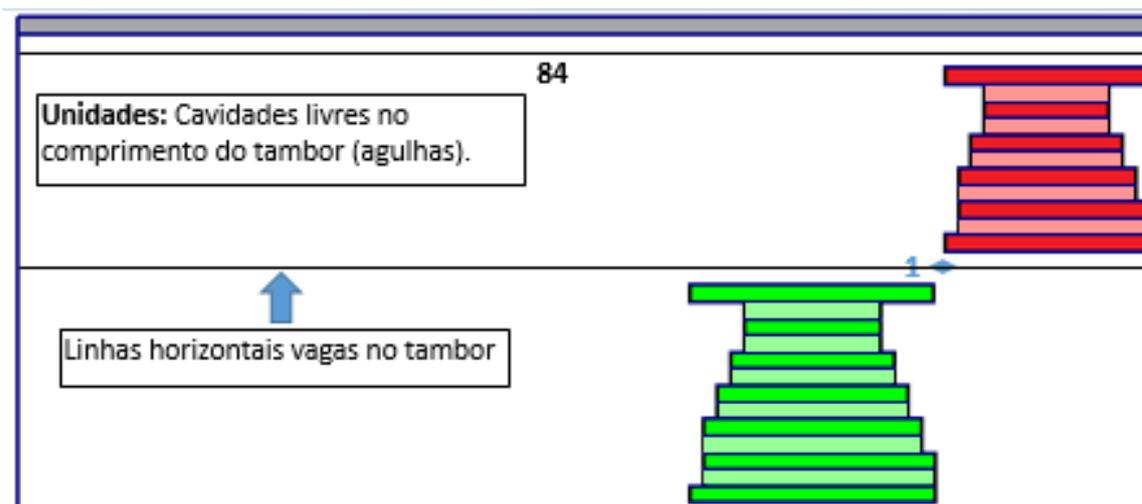


Figura 4.18. Parte do mapa do jogo 13 L2/L3, D3 (Frente) proposto.

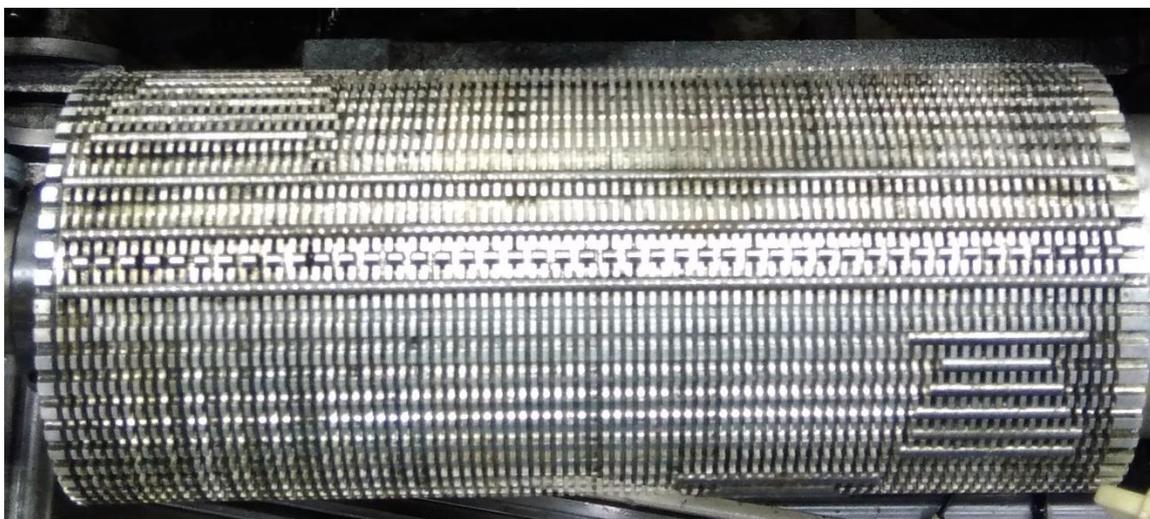


Figura 4.19. Demonstração da disposição dos pinos de aço no tambor de seleção para a configuração atual.

Para comparar e contabilizar as melhorias da solução proposta, na Tabela 4.3 é comparado o número de pinos que é necessário reconfigurar atualmente com o número de pinos e matrizes a alterar com o processo de *setup* proposto. Como é visível com esta solução proposta, o número de peças a trocar diminui substancialmente. No método atual, para uma máquina de tricotar em cada reconfiguração é necessário remover e colocar na nova posição 103 pinos de aço, já no método proposto a reconfiguração passa por 38 peças, 28 pinos de aço da configuração atual e 10 matrizes criadas.

Tabela 4.3. Comparação do número de peças a usar no processo de *change-over* de uma máquina de tricotar atual com o proposto.

<i>Jogo 13 L2/L3, D3 (Dianteiro)</i>	<i>Pinos</i>	<i>Matrizes</i>
<i>Atual</i>	45	0
<i>Proposto</i>	10	5
<i>Jogo 13 L2/L3, D3 (Traseiro)</i>		
<i>Atual</i>	58	0
<i>Proposto</i>	18	5

Este decréscimo significativo no número de peças a reconfigurar cria inúmeras vantagens. Uma delas é o desencaixe de todas as peças da configuração a alterar, já que o número de peças proposto é bastante menor e as matrizes apresentam uma dimensão superior, o que facilita o seu manuseamento. Como não se pretende o uso de cola na fixação das matrizes, o processo de limpeza dos tambores vai ficar bastante mais facilitado, consiste em remover apenas a sujidade proveniente do processo de tricotagem para que o tambor fique completamente livre e pronto a receber a nova configuração.

A maior vantagem encontra-se precisamente na aplicação da nova configuração nos tambores de seleção. Os pinos de aço encontram-se armazenados no carro de apoio divididos pelos vários tamanhos, com a utilização das matrizes propostas, o processo de seleção da peça a usar em cada momento vai ser agilizado, além de o número de peças ser menor, as matrizes podem ainda estar identificadas por cor e por nome de modo a simplificar a sua escolha. Depois de escolhida, a fixação no tambor de uma matriz torna-se um processo muito mais simples e rápido, basta encontrar a sua posição e o encaixe é feito de uma só vez sendo desnecessário o uso de cola. Na Tabela 4.4, são comparados os tempos despendidos por cada tarefa do *setup* atual e comparados com os do *setup* proposto.

Tabela 4.4. Tempo de Setup dividido pelas várias etapas durante a operação de reconfiguração dos pinos atual e proposta.

<i>Tarefa</i>	<i>Tempo Setup atual (min)</i>	<i>Tempo Setup proposto (min)</i>
<i>Abertura das tampas da máquina</i>	15	15
<i>Remoção das peças existentes inicialmente</i>	45	24
<i>Limpeza dos Tambores</i>	30	10
<i>Aplicação da nova configuração</i>	270	102
<i>Afinações Finais</i>	30	30
<i>Produção de um Liner e Validação</i>	10	10
<i>Fechar a Máquina</i>	20	20
<i>Tempo de setup</i>	420	211

De acordo com a estimativa do tempo *setup* proposto e comparando com o atual, identificam-se tarefas para as quais o tempo é imutável. No entanto, percebe-se que existem etapas que sofrem uma redução acentuada com a utilização do método proposto nomeadamente, a remoção das peças existentes inicialmente, a limpeza dos tambores e a aplicação da nova configuração. Após o somatório de todo o tempo despendido com o *setup* proposto, encontra-se uma redução de 209 minutos relativamente ao processo atual. Este resultado equivale a uma redução do tempo de *setup* na ordem dos 50%, portanto uma redução para cerca de três horas e meia de trabalho de um técnico, o que aumenta a sua disponibilidade para a realização de outras tarefas.

Na Tabela 4.5, são discriminados os ganhos com a redução do tempo de *setup* de uma máquina de tricotar. Com uma redução de 209 minutos no processo, a máquina ganha maior disponibilidade, portanto sabendo que o tempo médio de produção de um *liner* ronda os 5 a 6 min, é possível quantificar um ganho de produção de cerca de 21 pares de *liners* a cada processo de reconfiguração. O valor de um par de *liners* varia consoante o tipo de fios técnicos utilizados na sua criação, no entanto, o preço médio oscila entre 1,20 € e 1,50 €, portanto o valor acrescentado em cada processo de *setup* referente à produção ronda os 31 €.

Tabela 4.5. Ganhos alcançados com método de *setup* proposto para uma máquina de tricotar.

<i>Tempo (min)</i>	<i>Capacidade de produção (pares de liners)</i>	<i>Valor acrescentado (euros)</i>
209	20,9	31,35

Esta análise pode ser feita numa base anual, considerando uma média de 15 processos de *setup* por ano, com tendência a aumentar, o tempo ganho no total dos processos é de 3135 min, o que permite um aumento na capacidade de produção de 313 pares de *liners* e conseqüentemente um valor acrescentado com essa produção de 470,25 €, esta informação encontra-se discriminada na Tabela 4.6.

Tabela 4.6. Ganhos alcançados anualmente com método de *setup* proposto.

<i>Número de setups anual</i>	<i>Tempo (min)</i>	<i>Capacidade de produção (pares de liners)</i>	<i>Valor acrescentado (euros)</i>
15	3135	313,5	470,25

Considerando que os processos de *setup* são realizados apenas por um técnico, o seu tempo de serviço anual é reduzido em cerca de 52 horas de trabalho, o que resulta num ganho de mão-de-obra para a realização de outras tarefas, como por exemplo, a manutenção das respetivas máquinas de tricotar.

Estes dados mostram um ganho de disponibilidade, não só por parte do técnico, mas também por parte da máquina de tricotar. É gerado um aumento de produção e conseqüentemente uma diminuição no custo de produção de um *liner*. Existe ainda um aumento da flexibilidade da produção, visto que é mais rápida a alteração do tipo de *liner* a criar.

5. CONCLUSÕES

As exigências atuais do mercado assentam numa procura cada vez mais diversificada e dinâmica. Assim, é exigida uma grande flexibilidade no processo produtivo das empresas, uma diminuição de custos e uma grande capacidade de resposta às variações da procura por parte do cliente. Neste sentido, a produção de lotes pequenos e variados é imprescindível. No entanto existe a necessidade de ter tempos de *setup* reduzidos que permitam o uso eficiente dos recursos disponíveis.

No caso da produção de equipamentos de proteção individual, o objetivo é reduzir o tempo de *setup* de uma máquina de tricotar. Recorrendo à metodologia *SMED*, percebeu-se que a solução passava pela simplificação das etapas do processo que consumiam mais tempo. Para tal, foram criadas matrizes de forma a reduzir o número de peças a reconfigurar em cada processo de *setup*. Estas matrizes agrupam o número máximo de pinos possível de acordo com sua disposição no tambor de seleção. Portanto, foi proposto substituir parte dos pinos de aço individuais utilizados atualmente por matrizes com configuração alocada, com o objetivo de facilitar e acelerar o processo de reconfiguração.

A simulação computacional foi uma base importante no desenvolvimento destas matrizes, permitiu prever o seu comportamento mecânico para as diversas geometrias possíveis, assim como, para uma possível alteração do coeficiente de atrito no contacto entre o aço inoxidável do tambor de seleção e o *nylon* 6/6 dos pinos da matriz.

Relativamente ao principal objetivo do projeto, a redução do tempo de *setup/change-over* de uma máquina de tricotar luvas têxteis, os resultados obtidos são bastante positivos. O processo inicial apresentava um tempo médio de *setup* de 420 minutos. Por outro lado, a solução proposta apresenta um tempo médio estimado de *setup* de 211 minutos. Este resultado representa uma redução de cerca de 50%, o qual permite à empresa um aumento da produtividade, através do aumento da disponibilidade dos equipamentos bem como dos colaboradores. A simplificação e normalização do processo de *setup* também contribui para a melhoria da qualidade, já que proporciona uma diminuição dos erros durante o processo.

Inicialmente um dos objetivos do projeto era a criação das matrizes propostas através de uma impressão 3D. Este objetivo foi redefinido porque, como foi visto, é obrigatório existir uma grande precisão dimensional na geometria das matrizes a produzir, superior a 0,01 mm. Deste modo, é necessário o uso de uma impressora 3D avançada tecnologicamente.

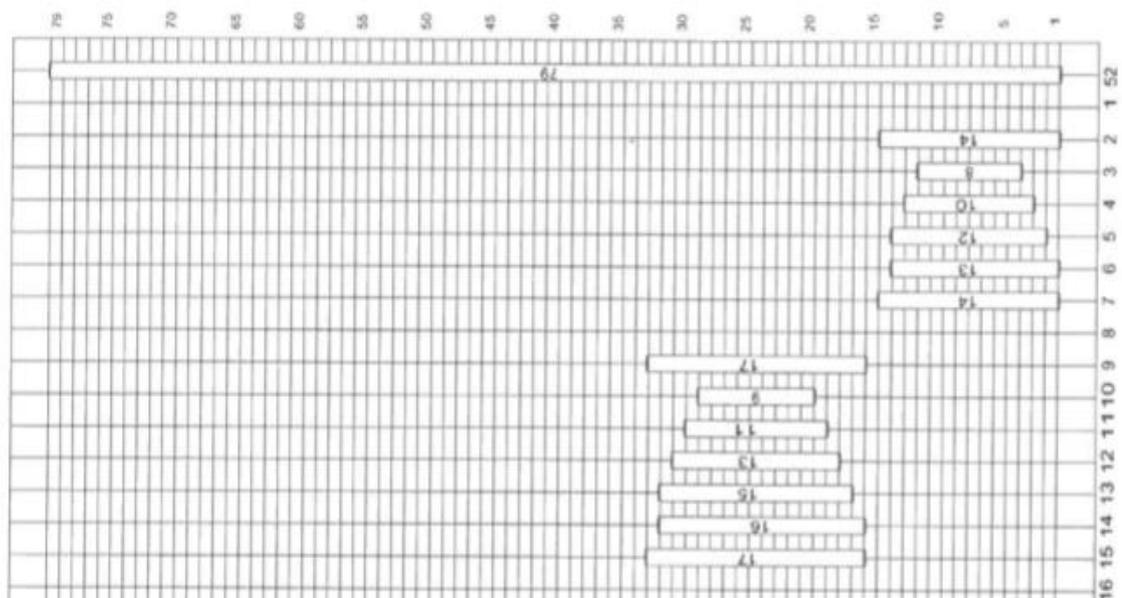
No que diz respeito às perspectivas de trabalho futuro, devem ser implementadas as alterações ao processo de *setup* propostas e contabilizados os ganhos reais desta medida. Para tal é necessária a seleção da impressão 3D mais apropriada e posteriormente a criação das matrizes. Sugere-se ainda uma pequena formação com os técnicos especializados nas máquinas de tricotar *Shima Seiki SFG*, para serem apresentados os novos mapas propostos com a localização exata das matrizes e pinos no tambor de seleção.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

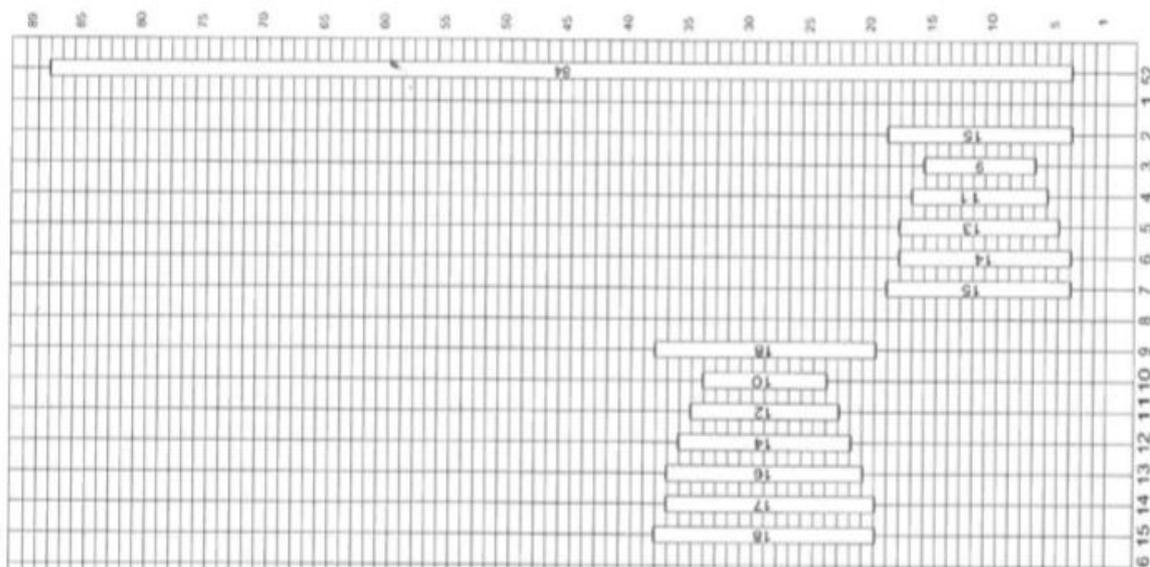
- Abreu, S. A. C. (2015). Impressão 3D baixo custo versus impressão em equipamentos de elevado custo, 235. <https://doi.org/10.1002/jmri.21433>
- Alzayer, M., Clay, C., & Shen, X. (2014). Tensile Testing of GFR Nylon 6,6, Nylon 6,6, GFR PP, PP, PS, and LDPE.
- Ansell. (n.d.). Knitting.
- Association, J. M. (1989). *Kanban Just-in Time at Toyota: Management Begins at the Workplace*. Revised Edition. Broken Sound Parkway NW: CRC Press.
- Brockman, J. B. (2010). Introdução à engenharia: modelagem e solução de problemas, 294. Retrieved from <https://books.google.com/books?id=WBecRQAACAAJ&pgis=1>
- Chemsystems. (2009). Nylon 6 and Nylon 6,6: Process Techonoly, Production Costs, Regional Supply/Demand Forecasts and Economics Comparison of Alternative Production Routes are presented, (April).
- Gibson, I., Rosen, D., & Stucker, B. (2014). *Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing*. Springer New York.
- Goubergen, D. Van, & Landeghem, H. Van. (2002). Rules for integrating fast changeover capabilities into new equipment design. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 18(3–4), 205–214. [https://doi.org/10.1016/S0736-5845\(02\)00011-X](https://doi.org/10.1016/S0736-5845(02)00011-X)
- Herr, K. (2013). *Quick Changeover Concepts Applied: Dramatically Reduce Set-Up Time and Increase Production Flexibility with SMED*. Taylor & Francis.
- Hirano, H. (2009). *JIT Implementation Manual: The Complete Guide to Just-in-Time Manufacturing*. (W. and the 5S's, Ed.) (Vol.2). CRC Press.
- Jaume I, U. (2017). Ficha técnica -Nylon, 12–21. <https://doi.org/10.1158/0008-5472.SABCS12-S5-3>
- Lee, K. (1999). *Principles of CAD/CAM/CAE systems*. Addison-Wesley.
- Material - Impressão 3D Nylon (Alta Resistência). (2019). Retrieved January 17, 2019, from <http://www.imprima3d.com/produto/materiais/detalhes&material=1>
- McIntosh, R. I., Culley, S. J., Mileham, A. R., & Owen, G. W. (2001). Changeover

- improvement: A maintenance perspective. *International Journal of Production Economics*. [https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(00\)00170-5](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(00)00170-5)
- Mellor, S. (2014). An Implementation Framework for Additive Manufacturing. *Physical Review A - Atomic, Molecular, and Optical Physics*. <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.72.043608>
- Nash, M. A., & Poling, S. R. (2008). *Mapping the Total Value Stream: A Comprehensive Guide for Production and Transactional Processes*. NY: CRC Press.
- Nylon (PA) – INCOMPLAST. (n.d.). Retrieved January 28, 2019, from <https://incomplast.com.br/nylonpa/>
- Seiki, S. (2006). Modification procedure between New SFG D3 and 5 finger glove.
- Shingo, S., & Dillon, A. P. (1985). *A Revolution in Manufacturing: The SMED System*. Taylor & Francis.
- Upton, D. M. (1998). *Designing, Managing, and Improving Operations*. Prentice Hall.
- Womack, J., & Jones, D. (2005). *Lean Solutions : How Companies and Customers Can Create Value and Wealth Together*. Free Press. <https://doi.org/10.1111/j.1748-0361.2006.00038.x>
- Womack, J. P., Jones, D. T., & Roos, D. (1990). *The Machine that Changed the World: The Story of Lean Production*. World. [https://doi.org/10.1016/0024-6301\(92\)90400-V](https://doi.org/10.1016/0024-6301(92)90400-V)

ANEXO A



(a)

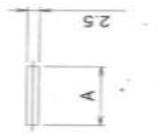


(b)

Figura A.1. Comparação de mapas: (a) Parte do mapa de pinos atual para o jogo 13 L/M, D3 (Frente); (b) Parte do mapa de pinos atual para o jogo 13 L2/L3, D3 (Frente); (Seiki, 2006).

ANEXO B

Name	A size	Piece	Item no.
1 2 needle	4.5	3	GCB1017A
2 4 needle	9.0	1	GCB0067A
3 9 needle	18.5	1	GCB1020A
4 10 needle	20.5	1	GCB1021A
5 11 needle	22.5	4	GCB0028A
6 12 needle	24.5	1	GCB1022A
7 13 needle	26.5	4	GCB1023A
8 14 needle	28.5	2	GCB1024A
9 15 needle	30.5	5	GCB1025A
10 16 needle	32.5	1	GCB0033A
11 17 needle	34.5	4	GCB0034A
12 18 needle	36.5	4	GCB1026A
13 19 needle	38.5	5	GCB1027A
14 20 needle	40.5	1	GCB1028A
15 21 needle	42.5	2	GCB1029A
16 50 needle	100.5	1	GCB1057
17 66 needle	132.5	1	GCB1036A
18 64 needle	168.5	3	GCB1043A



N.SFG13L2/L3, D3(F)

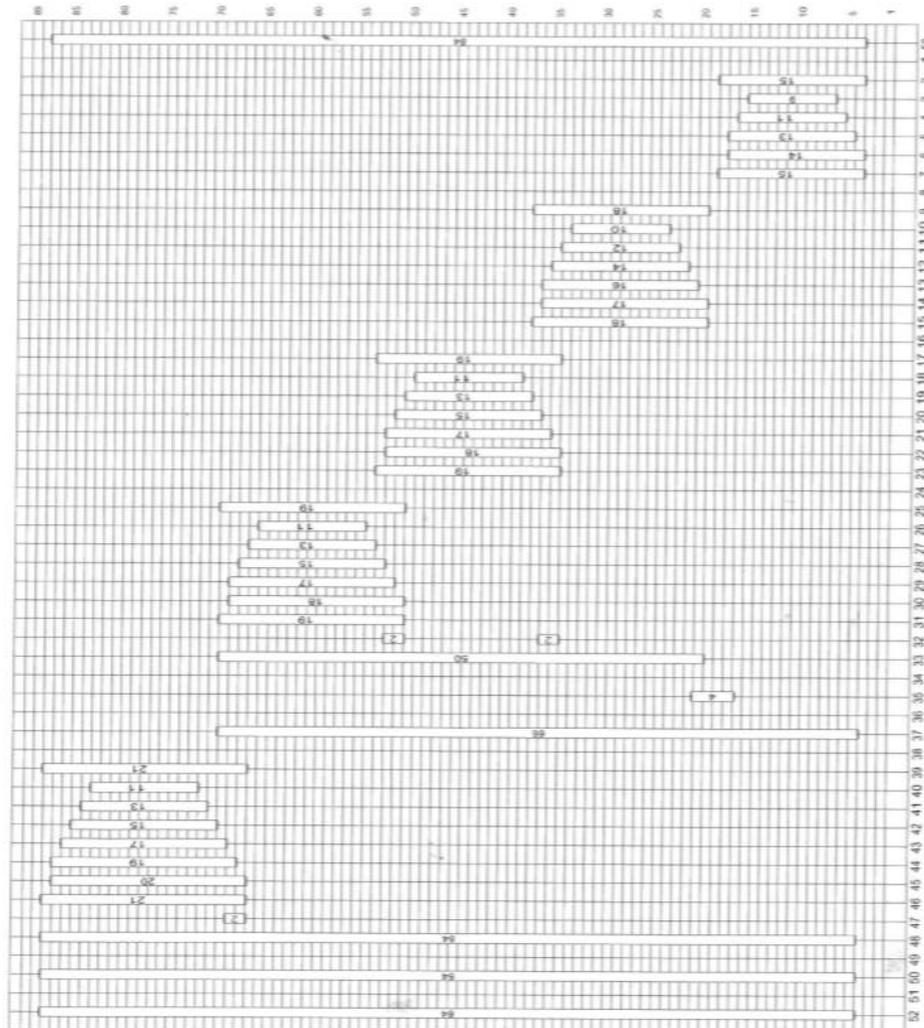


Figura A.2. Mapa de pinos atual para jogo 13 L2/L3, D3 (Frente) (Seiki, 2006).

Name	A size	Piece	Item no.
1 1 needle	2.5	12	GCB1016A
2 4 needle	9.0	1	GCB0067A
3 10 needle	20.5	1	GCB1021A
4 11 needle	22.5	1	GCB0028A
5 12 needle	24.5	4	GCB1022A
6 13 needle	26.5	1	GCB1023A
7 14 needle	28.5	5	GCB1024A
8 15 needle	30.5	2	GCB1025A
9 16 needle	32.5	5	GCB0033A
10 17 needle	34.5	1	GCB0034A
11 18 needle	36.5	4	GCB1026A
12 19 needle	38.5	4	GCB1027A
13 20 needle	40.5	5	GCB1028A
14 21 needle	42.5	1	GCB1029A
15 22 needle	44.5	2	GCB1030A
16 51 needle	102.5	3	GCB1047A
17 67 needle	134.5	1	GCB1046A
18 85 needle	170.5	4	GCB1056

Material
Finishing process

N.SFG13L2/L3, D3(B)

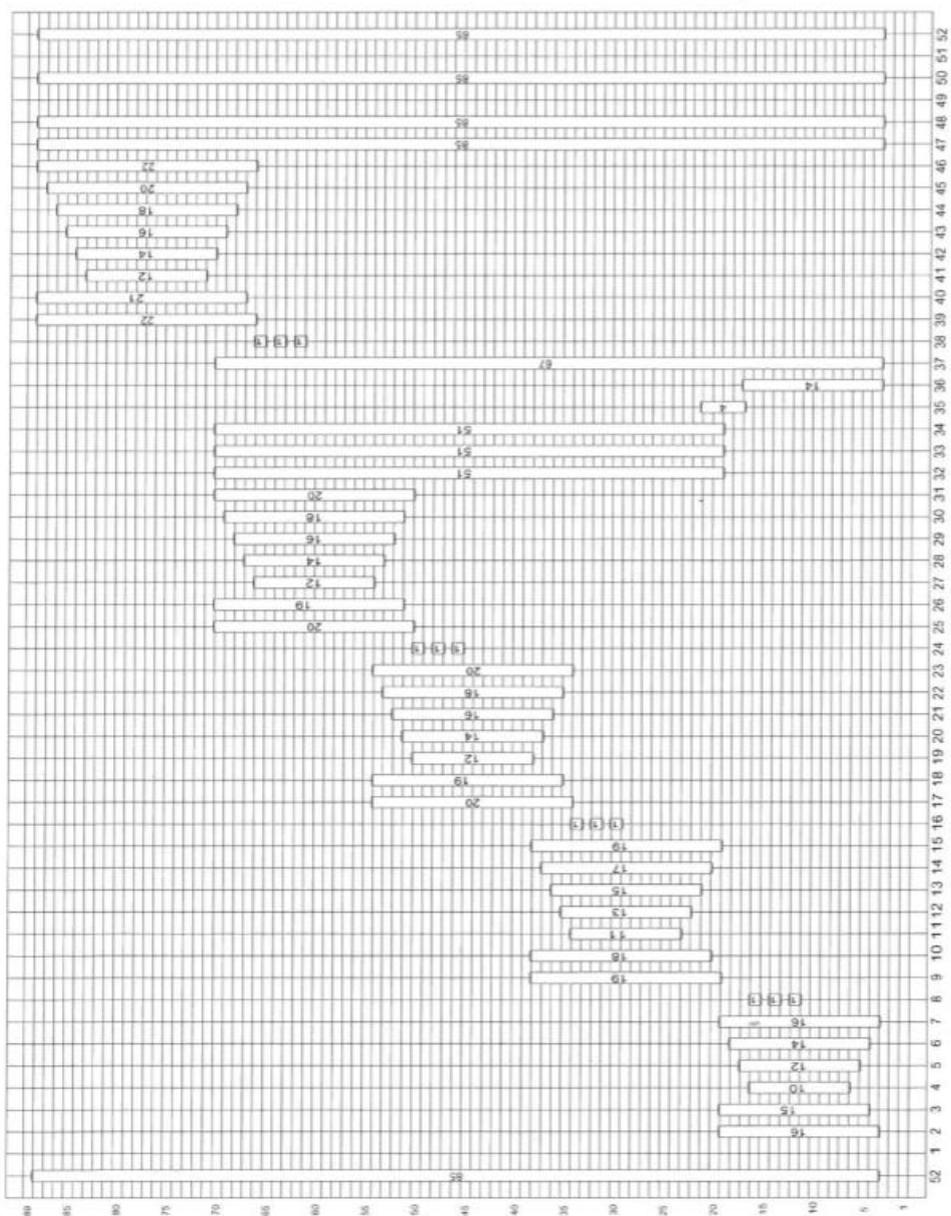


Figura A.3. Mapa de pinos atual para jogo 13 L2/L3, D3 (Trás) (Seiki, 2006).

APÊNDICE A

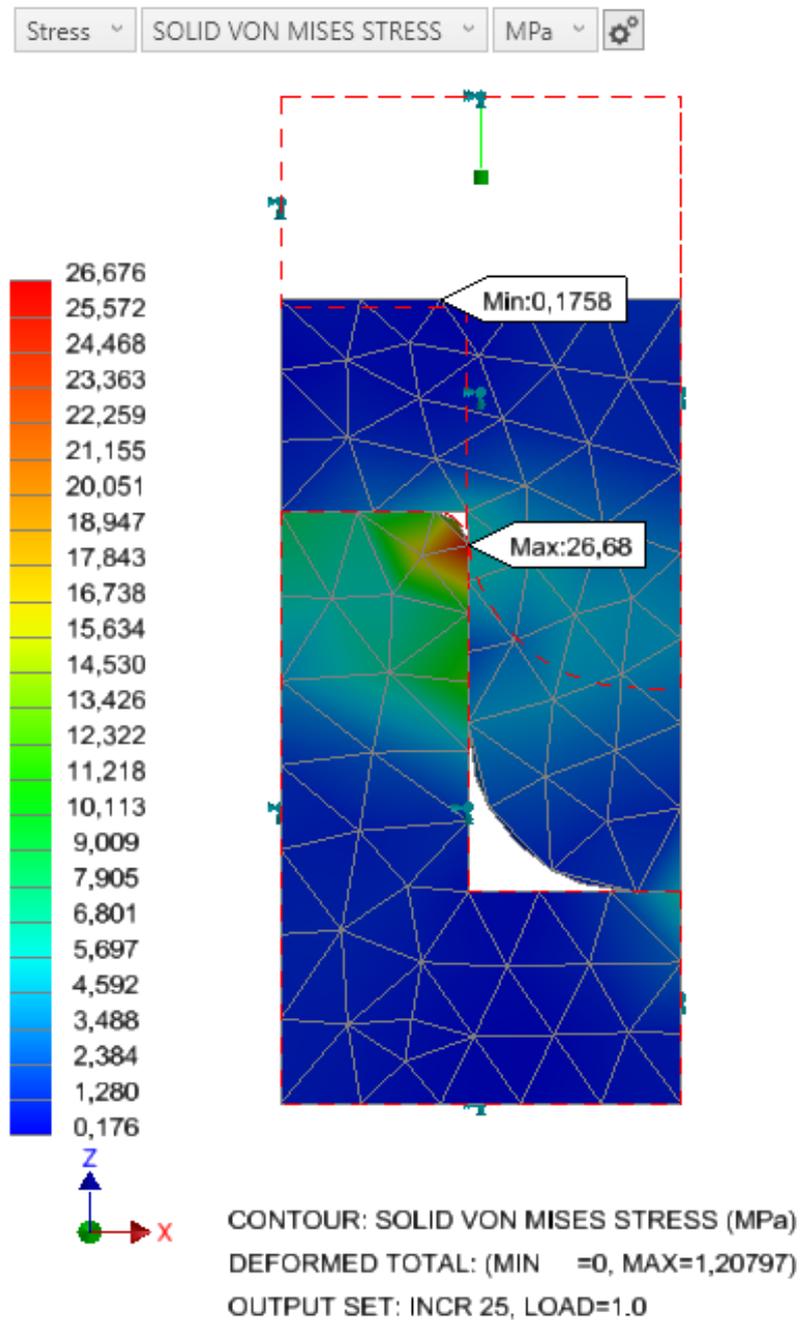


Figura A.4. Zonas de maior tensão no dente do tambor usando a malha gerada por defeito para descrever as geometrias.

APÊNDICE B

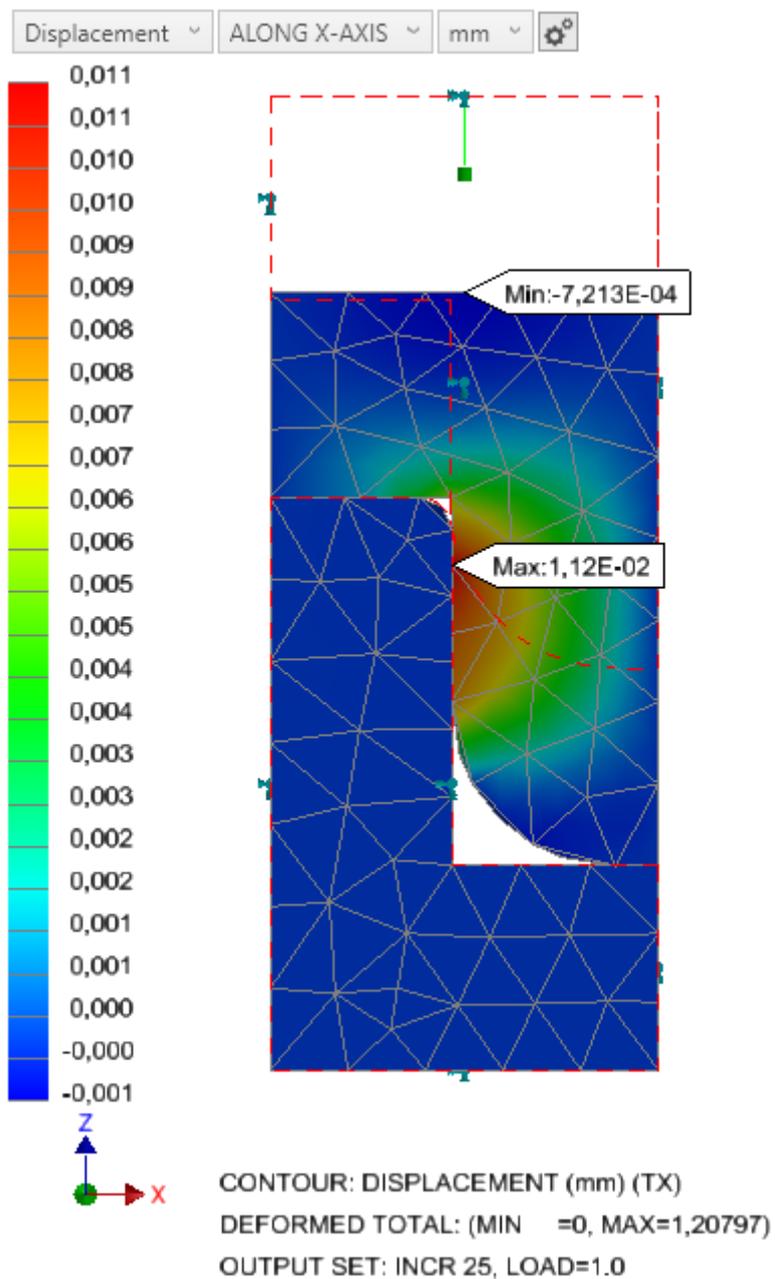


Figura A.5. Zonas de maior deformação na matriz usando a malha gerada por defeito para descrever as geometrias.

APÊNDICE C

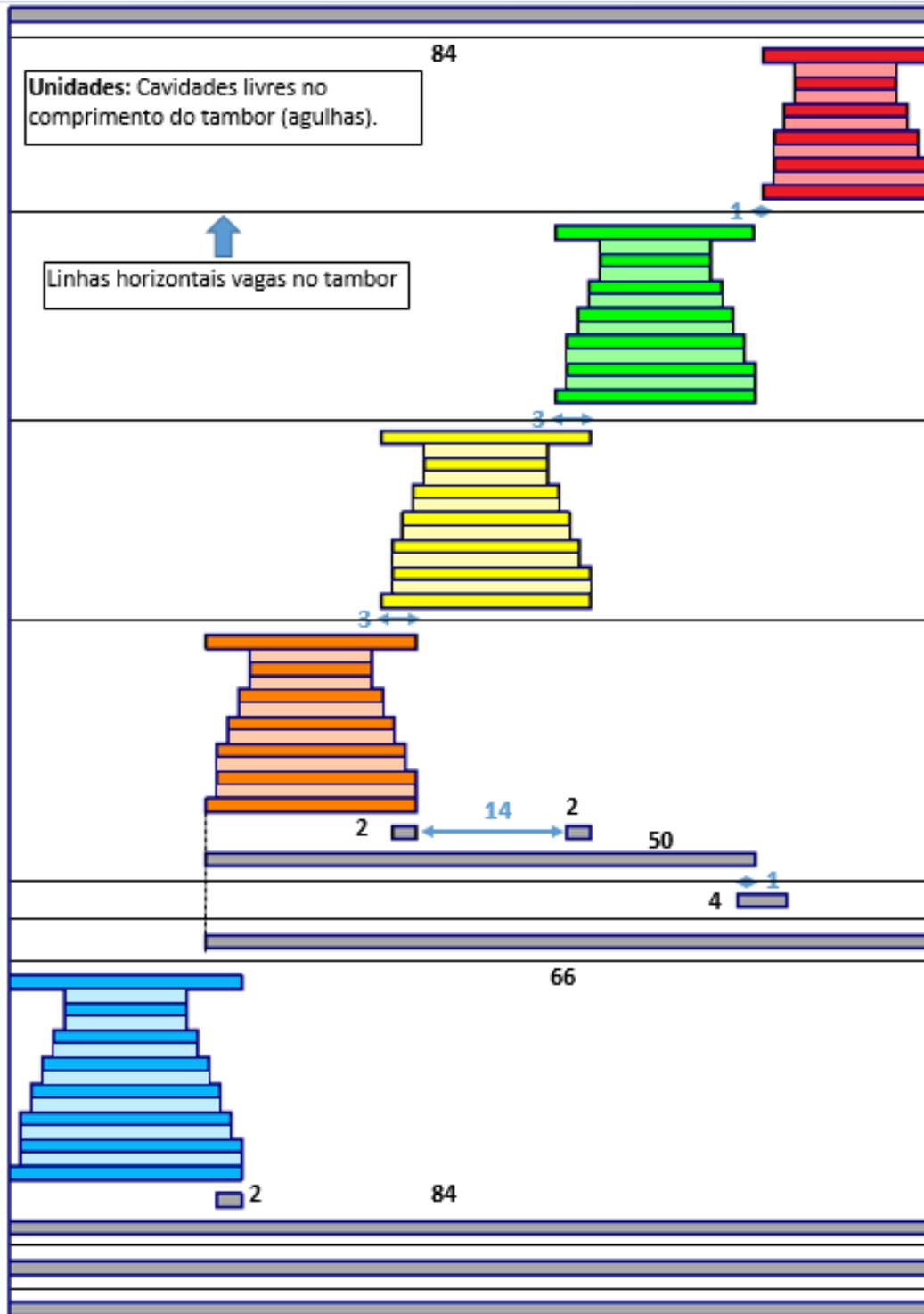


Figura A.6. Mapa de pinos proposto para jogo 13 L2/L3, D3 (Frente).

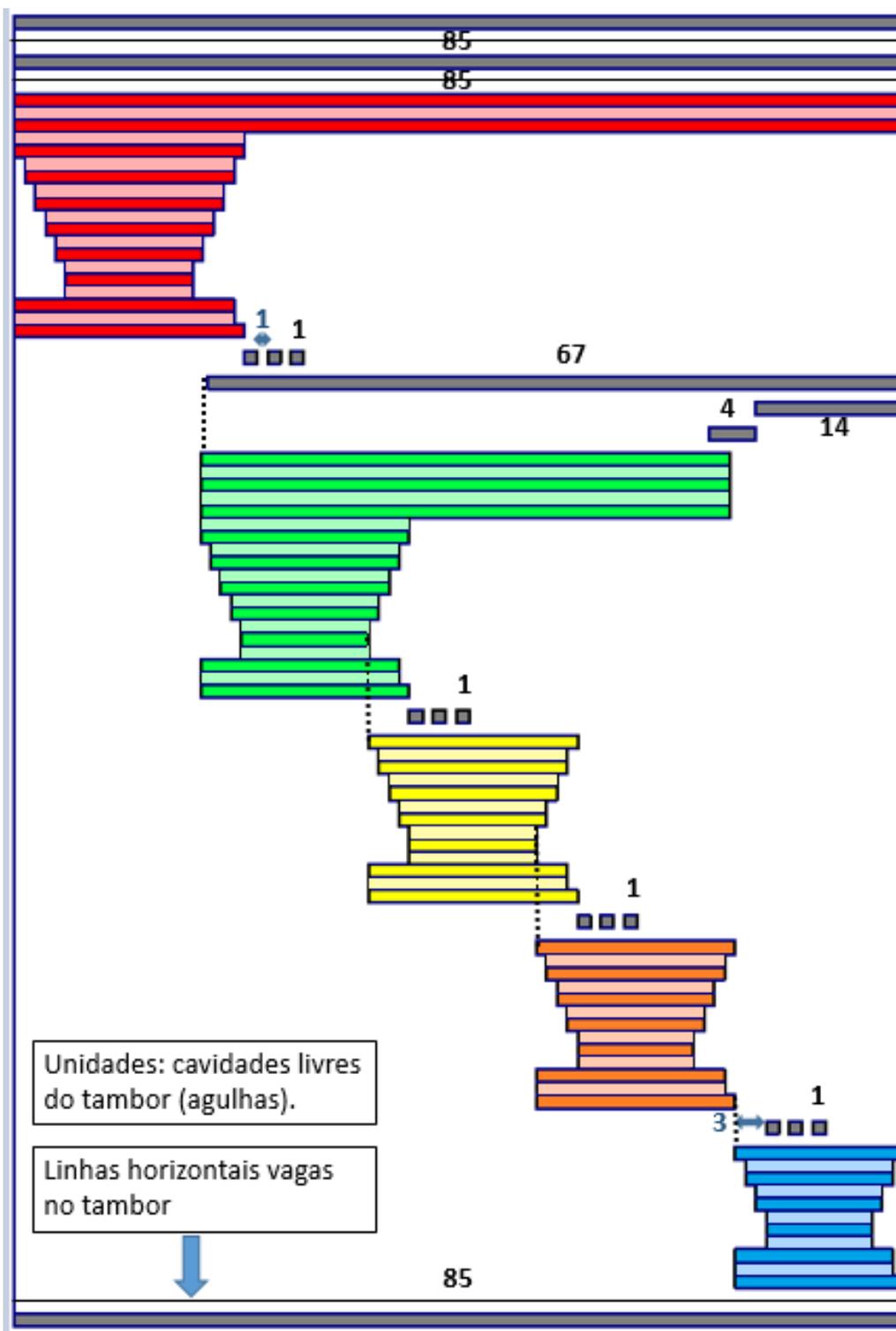


Figura A.7. Mapa de pinos proposto para jogo 13 L2/L3, D3 (Trás).