

Mestrado Integrado em Engenharia Química

***Correlação entre o perfil de pisos medidos com
perfilómetros online na zona a quente e a frio***

Dissertação de Mestrado

de

Rafaela Filipa Carvalho Gonçalves

Desenvolvida no âmbito da unidade curricular de Dissertação

realizada em

Continental Mabor - Indústria de Pneus S.A



Orientador na FEUP: Prof. José Miguel Loureiro

Orientador na Continental Mabor: Jorge Veloso



Departamento de Engenharia Química

julho de 2018

*Tudo deve ser apresentado da maneira
mais simples possível, porém não mais
simples do que isso.*

Albert Einstein

Agradecimentos

A concretização desta dissertação marca o culminar de uma etapa, pelo que quero agradecer a todas as pessoas que contribuíram para que fosse possível. A todos eles deixo o meu sincero agradecimento.

Ao meu orientador, Sr. Jorge Veloso, o meu obrigado pela oportunidade única que me proporcionou em realizar esta dissertação na Continental Mabor. Por todo o acompanhamento, disponibilidade, recomendações e interesse que sempre demonstrou e por acreditar sempre no sucesso e realização deste trabalho. Aos Eng.^{os} Rui Santos e Bruno Fernandes, a todos os restantes membros do DATP e operadores, expresse o meu agradecimento por terem transmitido o seu conhecimento em todas as dúvidas que foram surgindo, e pela fácil integração nesta nova fase do meu percurso.

Ao Professor José Loureiro, pela orientação que me deu desde o início até ao fim desta etapa, pela ajuda e interesse constante e por todo o incentivo durante a execução deste trabalho.

Aos meus pais e irmão por todo o apoio incondicional durante todo o meu percurso, por acreditarem e confiarem na concretização dos meus sonhos.

Ao Nuno, o meu profundo agradecimento pela forma como contribui para que este trabalho fosse realizado. Por todos os conselhos, compreensão, paciência, apoio e por ter-se mostrado incansável em todos os momentos.

A todos, obrigado!

Resumo

A competitividade empresarial faz com que as empresas tenham de trabalhar arduamente na melhoria e alcance de novas soluções para os seus produtos, desenvolvendo ideias e mecanismos originais com o objetivo de potencializar os seus resultados e a qualidade das suas mercadorias.

Partindo desta contextualização, esta dissertação proposta pela Continental Mabor, visa o desenvolvimento de um novo método de otimização do processo de abertura de fieiras para a produção do elemento mais exterior do pneu, o piso. Este documento surge assim como um compêndio da solução que visa dar resposta à necessidade sentida, cobrindo todas as diversas etapas desde recolha de dados na linha de extrusão de pisos até à validação da metodologia desenvolvida.

Como resultado do levantamento de literatura, verifica-se que o processo de abertura de fieiras se trata de um *bottleneck* na indústria do pneu, uma vez que para além de ser feito iterativamente, acarreta custos elevados de paragem de produção e gasto excessivo de compostos de borracha - *workoff* -, pelo que têm sido investigadas novas estratégias para otimizar este processo. No entanto, a abordagem proposta nesta dissertação não é análoga a qualquer referência literária, pelo que tanto quanto a autora tem conhecimento, sugere um carácter inovador e promissor para este tipo de processo.

Na primeira fase de desenvolvimento deste projeto fez-se a recolha de dados, através do uso de equipamentos designados por “perfilómetros” instalados na linha de produção onde eram recolhidos os perfis na “zona a quente” e na “zona a frio”, assim como se estudou a influência de potenciais variáveis que poderiam estar a induzir alterações dimensionais no piso desde a sua passagem da fieira até ao fim da linha de extrusão. De seguida, procedeu-se à análise dos dados, bem como se realizaram testes laboratoriais para ajudar à compreensão do comportamento do piso. Verificada uma correlação existente entre perfil “quente” e “frio”, procedeu-se com a estimação do perfil quente nominal e ao desenvolvimento de uma ferramenta em *Excel* capaz de calcular automaticamente este perfil, tendo como pressupostos a simplicidade e rapidez para que qualquer técnico a consiga utilizar eficazmente. A última etapa consistiu na validação da metodologia desenvolvida.

Com a implementação deste método prevê-se uma poupança anual de 250 000 €, consistindo numa solução bastante credível, conferindo a qualidade, rapidez de execução e redução de custos associados ao processo de abertura de fieiras.

Por fim, sugestões de trabalho futuro são recomendadas para que esforços suplementares possam conduzir à obtenção de resultados ainda mais promissores.

Palavras-chave: pneu, fieiras, extrusão, pisos, perfilómetros

Abstract

Business competitiveness means that companies have to work hard on improving and reaching new solutions for their products, developing original ideas and mechanisms aiming to boost their results and the quality of their merchandise.

Based on this context, this dissertation proposed by Continental Mabor aims the development of a new method for optimizing the process of opening dies for the production of the outermost element of the tire, the tread. This document thus appears as a compendium of the solution that aims to respond to the felt need, covering all the different steps from collecting data in the line of extrusion of treads until the validation of the methodology developed.

As a result of the literature survey, it is verified that the process of opening dies is a bottleneck in the tire industry, since in addition to being done iteratively, it entails high costs of stopping production and excessive expenditure of rubber compounds - *workoff* -, so new strategies have been investigated to optimize this process. However, the approach proposed in this dissertation is not analogous to any literary reference, and as far as the author is aware, suggests an innovative and promising character for this type of process.

In this project first phase of development, data was collected through the use of equipment called "profilometers" installed in the production line where the profiles were collected in the "hot zone" and the "cold zone" and it was studied the influence of potential variables that could be inducing dimensional changes in the tread from its passage from the die to the end of the extrusion line. Afterwards, the data was analyzed, as well as laboratory tests were performed to help understand the behavior of the tread. The correlation between the "hot" and "cold" profiles was verified, with the estimation of the nominal hot profile and the development of an *Excel* tool capable of automatically calculating this profile, assuming simplicity and speed for any technician to be able to use it effectively. The last step consisted in validating the methodology developed.

With the implementation of this method, an annual saving of € 250 000 is foreseen, consisting of a very credible solution, conferring the quality, speed of execution and reduction of the costs associated with the process of opening of dies.

Finally, suggestions for future work are recommended so that additional efforts can lead to even more promising results.

Keywords: tire, dies, extrusion, treads, profilometers

Declaração

Declara, sob compromisso de honra, que este trabalho é original e que todas as contribuições não originais foram devidamente referenciadas com identificação da fonte.



Rafaela Filipa Carvalho Gonçalves

2 de julho de 2018

Índice

1	Introdução.....	1
1.1	Enquadramento e Apresentação do Projeto	1
1.2	Apresentação da Empresa	3
1.3	Contributos do Trabalho.....	4
1.4	Organização da Tese	4
2	Contexto e Estado da Arte	5
2.1	O Pneu	5
2.2	Processo de Produção.....	7
2.3	Processo de Extrusão de Pisos.....	9
2.3.1	Alimentação à extrusora	10
2.3.2	Extrusora	11
2.3.3	Fieira	13
2.3.4	Ferramentas de medição do perfil	14
2.3.5	Dispositivo de Marcação	15
2.3.6	Sistema de arrefecimento e secagem	16
2.3.7	Sistema de corte	16
2.3.8	Problemas associados	17
2.4	Caraterização do problema	19
2.4.1	Revisão bibliográfica	20
2.5	Solução Proposta	22
2.6	Sumário	23
3	Descrição Técnica.....	24
3.1	Identificação das variáveis	24
3.2	Seleção das variáveis.....	25
3.2.1	Composto	25
3.2.2	Temperatura do piso antes do perfilómetro quente.....	26
3.2.3	Espessura do piso.....	26

3.2.4	Tipo de extrusão: relaxada vs esticada	27
3.3	Testes de extrusão: Perfilometrias.....	27
3.4	Testes Laboratoriais	29
3.5	Sumário	30
4	Resultados e Discussão.....	31
4.1	Influência das variáveis	31
4.1.1	Composto	32
4.1.2	Temperatura antes do perfilômetro quente	35
4.1.3	Espessura do piso.....	37
4.1.4	Tipo de Extrusão: relaxada vs esticada	39
4.2	Implementação da correlação entre o perfil de pisos quente e frio	42
4.2.1	Procedimento de implementação	43
4.2.2	Ferramenta desenvolvida <i>Hot Inline Adjustment</i>	43
4.2.3	Validação do método desenvolvido	44
4.3	Retorno Financeiro	45
4.4	Discussão	45
5	Conclusões	47
5.1	Trabalho Futuro	47
5.2	Apreciação Final	48
Anexo A.....		51
Anexo B.....		55
Anexo C.....		63
Anexo D		65
Anexo E		67
Anexo F		69
Anexo G.....		73
Anexo H.....		75
Anexo I.....		79
Anexo J.....		81

Anexo K.....	83
Anexo L.....	87

Lista de Figuras

<i>Figura 1-Extrusão de um piso de pneu (adaptado de Brause e Pietruschka, 1998).....</i>	<i>2</i>
<i>Figura 2-Distribuição do Grupo Continental AG (Continental AG, 2017).....</i>	<i>3</i>
<i>Figura 3- Secção de corte de um pneu radial e sua constituição (Continental Pneus, 2018).....</i>	<i>5</i>
<i>Figura 4-Distribuição dos compostos no piso de um pneu.....</i>	<i>6</i>
<i>Figura 5-Zonas constituintes do piso de um pneu.</i>	<i>6</i>
<i>Figura 6-Etapas do processo de produção de um pneu.</i>	<i>7</i>
<i>Figura 7-Exemplo de um perfil de piso com 5 componentes.</i>	<i>9</i>
<i>Figura 8-Linha de Extrusão Triplex (adaptado de Continental Pneus, 2018).</i>	<i>10</i>
<i>Figura 9-Alimentação dos materiais à extrusora.</i>	<i>11</i>
<i>Figura 10-Geometria típica do parafuso para extrusão de compostos de borracha (adaptado de (Rauwendaal,2014)).....</i>	<i>11</i>
<i>Figura 11-Representação de um corte da camisa, com sem fim de diâmetro constante (Continental Pneus, 2018).</i>	<i>12</i>
<i>Figura 12-Exemplo de uma fieira (em cima) e respetivo perfil (em baixo).</i>	<i>13</i>
<i>Figura 13-Die Swell.....</i>	<i>13</i>
<i>Figura 14-Perfilómetro instalado na linha de extrusão (lado esquerdo) e ampliação da imagem exibida pelo mesmo (lado direito).</i>	<i>15</i>
<i>Figura 15-Dispositivo de Marcação.</i>	<i>15</i>
<i>Figura 16-Tanques de arrefecimento.</i>	<i>16</i>
<i>Figura 17-Sopradores.</i>	<i>16</i>
<i>Figura 18-Equipamento de armazenamento automático.</i>	<i>17</i>
<i>Figura 19-Equipamento de corte.</i>	<i>17</i>
<i>Figura 20-Efeito do esticamento após a fieira (adaptado de Nijman, 2017).</i>	<i>18</i>
<i>Figura 21-Método atual de produção de uma fieira.</i>	<i>20</i>
<i>Figura 22-Descrição do novo processo para a abertura de uma fieira.</i>	<i>23</i>
<i>Figura 23-Diagrama Causa-Efeito.....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 24-Viscosidade e tempo de relaxação característicos de cada composto.</i>	<i>25</i>
<i>Figura 25-Piso marcado para amostra.</i>	<i>28</i>
<i>Figura 26-Medição de temperatura.</i>	<i>28</i>
<i>Figura 27-Localização de v1 a v4 na linha de extrusão.</i>	<i>28</i>

<i>Figura 28-Instrumento de marcação de comprimento do piso.</i>	<i>29</i>
<i>Figura 29-Amostra de piso (lado esquerdo) revestida com pó de talco (centro) na estufa (lado direito).</i>	<i>30</i>
<i>Figura 30-Exemplo teste extrusão: perfilometria.</i>	<i>31</i>
<i>Figura 31-Perfis obtidos na linha de extrusão para composto duro (lado esquerdo) e muito elástico (lado direito).</i>	<i>33</i>
<i>Figura 32-Influência da temperatura no composto duro.</i>	<i>36</i>
<i>Figura 33-Influência da temperatura no composto muito elástico.</i>	<i>36</i>
<i>Figura 34-Regiões em análise para estudo da variável “Espessura”.</i>	<i>37</i>
<i>Figura 35-V.R.E. “ombro” (em cima) e no “centro” (em baixo) obtidas.</i>	<i>38</i>
<i>Figura 36-Regiões de aplicação de um fator de correlação em termos de largura.</i>	<i>40</i>
<i>Figura 37-Cálculo do ajuste em termos de espessura feito à fieira.</i>	<i>44</i>
<i>Figura B.1-Analogia à passagem do material na fieira.</i>	<i>55</i>
<i>Figura B.2-Comportamento do piso numa extrusão relaxada antes do sistema de arrefecimento.</i>	<i>56</i>
<i>Figura B.3-Perfil de velocidades.</i>	<i>56</i>
<i>Figura B.4-Perfil de velocidades ao longo do shrinkage conveyor.</i>	<i>57</i>
<i>Figura B.5-Perfil de velocidades de uma fieira com chanfros.</i>	<i>57</i>
<i>Figura B.6-Comportamento do piso numa extrusão relaxada.</i>	<i>58</i>
<i>Figura B.7-Comportamento do piso numa extrusão esticada.</i>	<i>58</i>
<i>Figura B.8-Influência dos balanceiros e das passadeiras de transporte no comportamento do piso numa extrusão esticada.</i>	<i>59</i>
<i>Figura B.9-Influência do abaixamento de temperatura no tanque de arrefecimento no comportamento do piso numa extrusão esticada.</i>	<i>59</i>
<i>Figura B.10-Pontos de medição na linha de extrusão.</i>	<i>60</i>
<i>Figura B.11-Perfil do piso na “zona a quente” numa extrusão relaxada.</i>	<i>60</i>
<i>Figura B.12-Perfil do piso após arrefecimento numa extrusão relaxada.</i>	<i>60</i>
<i>Figura B.13-Perfil do piso após corte numa extrusão relaxada.</i>	<i>61</i>
<i>Figura B.14-Perfil do piso na “zona a quente” numa extrusão esticada.</i>	<i>61</i>
<i>Figura B.15-Perfil do piso após arrefecimento numa extrusão esticada.</i>	<i>61</i>
<i>Figura B.16-Perfil do piso após corte numa extrusão esticada.</i>	<i>62</i>
<i>Figura D.1-Influência do composto na variação de espessuras.</i>	<i>65</i>
<i>Figura F.1-Distribuição de espessuras a diferentes temperaturas para cada composto.</i>	<i>71</i>

<i>Figura G.1.1-Ajuste linear para a variação da largura total (em cima) e de espessuras em função da variação de velocidade (em baixo).</i>	73
<i>Figura G.1.2-Regressões utilizadas para as diferentes regiões do piso: “ombro para fora” (em cima), “ponto interior do ombro” (a meio) e “centro” (em baixo) em função da variação de velocidade.</i>	74
<i>Figura H.1-Perfis obtidos após aquecimento/arrefecimento.</i>	77
<i>Figura I.1-Implementação da correlação desenvolvida.</i>	79
<i>Figura J.1-Ferramenta Hot Inline Adjustment.</i>	81
<i>Figura K.1.1-Perfil GUTS da fieira “25780”.</i>	83
<i>Figura K.1.2-1º teste da fieira “25780” na linha de extrusão.</i>	83
<i>Figura K.1.3-2º teste da fieira “25780” na linha de extrusão.</i>	84
<i>Figura K.1.4-3º teste da fieira “25780” na linha de extrusão.</i>	84
<i>Figura K.1.5-Comparação do perfil frio obtido no 3º teste da fieira na linha de extrusão com o perfil GUTS da fieira “25780”</i>	85
<i>Figura K.2.1-Perfil GUTS da fieira “25789”.</i>	85
<i>Figura K.2.2-1º teste da fieira “25789” na linha de extrusão.</i>	85
<i>Figura K.2.3-2º teste da fieira “25789” na linha de extrusão.</i>	86
<i>Figura K.2.4-Comparação do perfil frio obtido no 2º teste da fieira na linha de extrusão com o perfil GUTS da fieira “25789”</i>	86

Lista de Tabelas

<i>Tabela 1-Análise do lado direito do perfil.....</i>	<i>31</i>
<i>Tabela 2-Influência do composto na variação de largura total.</i>	<i>33</i>
<i>Tabela 3-Variações dimensionais obtidas em escala laboratorial e na linha de extrusão.</i>	<i>34</i>
<i>Tabela 4-Variações de largura obtida para cada temperatura.....</i>	<i>35</i>
<i>Tabela 5-Resultados das V.R.E. obtidos.</i>	<i>38</i>
<i>Tabela 6-Valores médios da variação de largura e espessura obtidos em função de Δv.</i>	<i>39</i>
<i>Tabela 7-Valores de R^2 obtidos para diferentes ajustes.</i>	<i>40</i>
<i>Tabela 8-Resultados experimentais para as diferentes regiões de um piso.</i>	<i>41</i>
<i>Tabela 9-Resultados obtidos numa extrusão “normal” e com paragem na linha de extrusão.</i>	<i>42</i>
<i>Tabela E.1-Variação de largura total média para todas as variações de velocidade.</i>	<i>67</i>
<i>Tabela L.1-Condições processo antigo vs novo.</i>	<i>87</i>

Notação e Glossário

L	Largura do piso	mm
E	Espessura do piso	mm
T	Temperatura	°C
v	Velocidade	m/min
R^2	Coeficiente de determinação	

Letras gregas

Δ	Varição	
η	Viscosidade	Pa.s
λ	Tempo de relaxação	s
α	Coeficiente de dilatação térmica	°C ⁻¹

Lista de Siglas

DATP	Departamento de Apoio Técnico à Produção
V.R.E.	Varição Relativa de Espessura

1 Introdução

A presente dissertação constitui um estudo completo sobre a otimização do processo de abertura de fieiras utilizadas na extrusão de pisos de pneus, abrangendo todas as etapas desde a recolha de dados para avaliação até à validação do método desenvolvido. Este primeiro capítulo introduz o assunto em estudo, fornecendo uma contextualização para a necessidade urgente de otimização deste processo.

A empresa onde foi realizado este projeto é apresentada, assim como os contributos do desenvolvimento deste trabalho, juntamente com os respetivos objetivos que se espera que sejam cumpridos. Por último, é apresentada a organização desta dissertação de forma a orientar o leitor.

1.1 Enquadramento e Apresentação do Projeto

O pneu é um elemento de extrema importância para a condução e é o único componente numa viatura que estabelece o contacto direto com a estrada, desempenhando funções de suporte de carga de veículo, estabilidade de condução e absorção de irregularidades da estrada. Cabe-lhe ainda estabelecer a fricção entre a superfície da estrada e o veículo no arranque, travagem e curvas.

Trata-se de um elemento que apresenta uma estrutura altamente complexa, em que a sua constituição engloba vários componentes e diversos compostos de borracha, cada qual com uma função específica. Entre os demais constituintes, o presente estudo centra-se no piso do pneu, isto é, no elemento externo do pneu, que estabelece contacto direto com o solo.

Os pisos são constituídos por 3 compostos de borracha distintos - “capa”, “base” e “asa” - cujas composições variam de pneu para pneu de acordo com as especificações exigidas pelo cliente; desta forma, o fabrico de pisos diferentes é guiado por receitas distintas. Para além disto, cada piso tem uma geometria definida determinada pela fieira/matriz no processo de extrusão. Trata-se de um processo de transformação em que os compostos de borracha são alimentados por uma tremonha à extrusora, cujo interior tem um parafuso que força a passagem dos mesmos por uma fieira, obtendo-se o piso de um pneu com a geometria determinada pela fieira, tal como representado na figura 1.

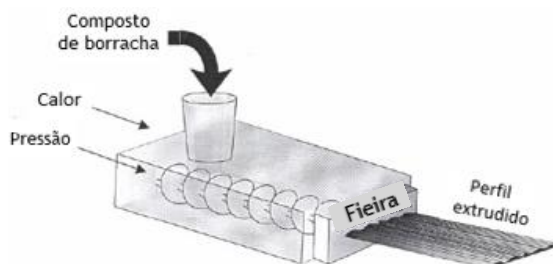


Figura 1-Extrusão de um piso de pneu (adaptado de Brause e Pietruschka, 1998).

Uma vez que cada piso possui uma determinada forma, é necessário ter uma fieira com uma abertura definida para cada um, de forma a obter-se um perfil de piso aceitável - dentro das tolerâncias especificadas - no final da linha de extrusão. Uma vez que os compostos de borracha possuem uma natureza não-linear, isto é, não é possível saber especificamente como o material irá reagir após ser extrudido, esta tarefa não pode ser resolvida analiticamente, pelo que o desenvolvimento da abertura de uma fieira é realizado pelos técnicos através de um processo tentativa-erro baseado na sua experiência e conhecimento, sem que exista qualquer procedimento normalizado para a obtenção do perfil de fieira. Este processo acarreta várias paragens no ciclo de produção, desperdício de tempo, dinheiro, recursos, sobrecarga de produção e gera uma quantidade de pisos não conforme - *workoff* - que não podem ser aproveitados para a formação de um pneu, pelo que atualmente é necessário um tempo médio de uma semana para dar uma resposta ao cliente.

A atual competição no mercado obriga as empresas a trabalharem de forma contínua na obtenção de melhores resultados, mais eficazes e com melhor qualidade, sendo que têm sido desenvolvidos vários métodos de otimização para melhorar o processo de aberturas de fieiras utilizadas no processo de extrusão. A presente dissertação irá fornecer um novo método de forma a tornar este processo mais eficiente tanto a nível temporal como económico. Pretende-se assim estabelecer uma correlação entre o perfil do piso medido na “zona a quente” da linha de extrusão, após passagem na fieira, e o perfil do piso medido na “zona a frio”, isto é, no final da linha de extrusão, sendo estes perfis fornecidos por perfilômetros instalados nestas zonas. Assim, o processo de abertura de uma nova fieira iria ser facilitado, uma vez que através da medição do perfil do piso no perfilómetro a quente - perfil na “zona a quente” -, conseguir-se-ia prever as dimensões do perfil no final da linha de extrusão - perfil na “zona a frio” -, procedendo-se, no caso de não ser concordante com o perfil nominal pretendido, a um ajuste imediato da fieira através de uma máquina adjacente à linha de extrusão.

Com esta nova metodologia será ainda possível um melhor controlo de várias variáveis do processo de extrusão, como temperatura ambiente e do equipamento, pressões, e o próprio envelhecimento dos materiais, uma vez que toda a operação passará a ser realizada num espaço temporal minutos/horas, ao invés de dias/semanas com sucessivas paragens no ciclo de produção diário e condições operatórias diferentes.

1.2 Apresentação da Empresa

A Continental AG foi fundada em Outubro de 1871 em Hannover, Alemanha, dedicando-se inicialmente à produção de produtos suaves de borracha, tecidos emborrachados e pneus maciços para carruagens e bicicletas. O sucesso foi tal que em 1898 começou a produzir pneus de piso liso para automóveis e, em 1904 tornou-se a primeira empresa a nível mundial a produzir pneus com desenho de piso.

O ano de 1960 é um marco na história da empresa, uma vez que inicia a produção em série de pneus ligeiros. Desde então, novos estudos e técnicas foram desenvolvidos, tornando-se num dos cinco maiores fornecedores da indústria automóvel.

O Grupo Continental produz para além dos pneus para bicicletas, motas, veículos de passageiros, camiões e autocarros; sistemas de travagem, tecnologias de transmissão de potência, controlos dinâmicos para as viaturas, sistemas eletrónicos e sensores. Está presente nos cinco continentes, tendo atualmente 220 000 colaboradores distribuídos pelas 5 divisões de produção - Chassis e Segurança, *Powertrain*, Interior, Pneus e *ContiTech* - tal como se pode ver pela figura 2.



Figura 2-Distribuição do Grupo Continental AG (Continental AG, 2017).

Em Portugal, o grupo Continental AG encontra-se representado pela Continental Mabor - Indústria de Pneus S.A. em Lousado, Vila Nova de Famalicão, e a sua produção centra-se no fabrico de pneus. Esta unidade fabril nasceu em Dezembro de 1989 e resulta da união de duas empresas, a Continental AG com a empresa Mabor - Manufatura Nacional de Borracha S.A., já existente desde 1946 e a primeira fábrica de pneumáticos de Portugal.

Em 1990 a fábrica foi sujeita a um programa de reestruturação, transformando as antigas instalações da Mabor numa das mais modernas unidades industriais do grupo. Nesse mesmo ano, a produção média diária rondava os 5 000 pneus e em 1996 a sua produção quadruplicou fabricando cerca de 21 000 pneus/dia (Continental Pneus, 2018).

Atualmente, a Continental Mabor tem cerca de 2000 colaboradores e regista um dos melhores índices de produtividade do grupo Continental com uma capacidade de produção média de 57 000 pneus/dia. Esta empresa é a maior exportadora do Norte de Portugal e, a nível nacional encontra-se em 4º lugar (Madeira, 2017).

1.3 Contributos do Trabalho

Citada a importância do desenvolvimento de novas estratégias para a otimização do processo de abertura de feiras, são apresentados de seguida quais os contributos da proposta desta dissertação.

O processo de abertura de feiras representa um problema de produção na indústria de pneus, tornando-se urgente a obtenção de respostas mais rápidas, surgindo a necessidade do desenvolvimento de um novo método, capaz de fornecer através do perfil quente, uma previsão do perfil do piso no final da linha de extrusão.

Este trabalho apresenta duas importantes contribuições, nomeadamente a quantificação do comportamento do material entre a “zona a quente” e a “zona a frio” da linha de extrusão, através da análise de variáveis de processo que poderão estar a induzir alterações geométricas no piso e, a implementação da correlação desenvolvida. Com este estudo é expectável uma redução de *workoff* e do tempo de uso da linha de extrusão de cerca de 50 %, e do número de paragens na linha de extrusão para testes de abertura de uma feira de 5 para 1, tornando este processo mais rápido, eficiente e com menores custos associados.

1.4 Organização da Tese

O documento está organizado do seguinte modo:

O **capítulo 1**, “Introdução”, introduz a dissertação, apresentando o problema em estudo assim como a empresa e os contributos do trabalho realizado.

O **capítulo 2**, “Contexto e Estado da Arte”, fornece uma revisão bibliográfica sobre a constituição de um pneu e sobre o processo de extrusão de pisos. É apresentada a contextualização do problema em causa, assim como sugestões da literatura sobre otimização do processo de abertura de feiras. É ainda descrita a solução proposta desta dissertação.

No **capítulo 3**, “Descrição técnica”, é apresentada a metodologia pela qual o problema foi abordado, decidindo-se quais as variáveis que poderiam estar a influenciar o comportamento do piso na linha de extrusão, assim como se estabeleceram os testes necessários para o seu estudo.

No **capítulo 4**, “Resultados e Discussão” são apresentados e analisados todos os dados obtidos através dos testes realizados, assim como é elaborada uma avaliação crítica.

No **capítulo 5**, “Conclusões”, são apresentadas todas as conclusões do trabalho desenvolvido, sugestões de melhoria para trabalhos futuros e é feita uma reflexão crítica sobre o estudo em causa.

2 Contexto e Estado da Arte

2.1 O Pneu

Os pneus são composições estruturais cuidadosamente projetadas de forma a atender aos critérios a que são submetidos, tais como a segurança do veículo, estabilidade da viatura, suporte de carga, resistência às sobrecargas dinâmicas produzidas nas acelerações e travagens, amortecimento dos choques causados pelas irregularidades das estradas, entre outros, pelo que têm de ser fabricados com o máximo rigor e qualidade.

Um pneu é constituído por diversos componentes com uma determinada composição, função específica e propriedades mecânicas, e por quinze ou mais compostos de borracha diferentes, reforçados com fibras têxteis e metálicas (Lindenmuth, 2006).

Tal como se pode observar pela figura 3, um pneu radial para automóveis de passageiros possui várias camadas entre as quais piso, cinta têxtil, cintas metálicas, tela têxtil, camada estanque, parede lateral e o talão, sendo que cada uma destas partes encontra-se seguidamente descrita.



1. Piso
2. Cinta têxtil
3. Telas metálicas
4. Tela têxtil
5. Camada estanque
6. Parede Lateral
7. Cunha de talão
8. Reforço do talão
9. Núcleo do talão

Figura 3- Secção de corte de um pneu radial e sua constituição (Continental Pneus, 2018).

O **piso** trata-se de um perfil grosso extrudido e é a parte do pneu que entra em contacto com o solo. O piso é constituído por três camadas de diferentes compostos de borracha com uma determinada função específica. Na figura 4 está representada a distribuição das mesmas.

A “capa” é o componente em contacto com a estrada e tem como funções a aderência aos vários tipos de pavimento, resistência ao desgaste e estabilidade direcional.

A “base” é o componente interior do piso e tem como funções reduzir a resistência ao rolamento, evitar a passagem de calor do piso da estrada para a estrutura do pneu e reduzir eventuais danos ao interior do pneu.

A “asa” trata-se do componente dos extremos do piso e o que ocupa menor área. É essencial para garantir que a união do piso à parede lateral do pneu seja a mais perfeita possível.

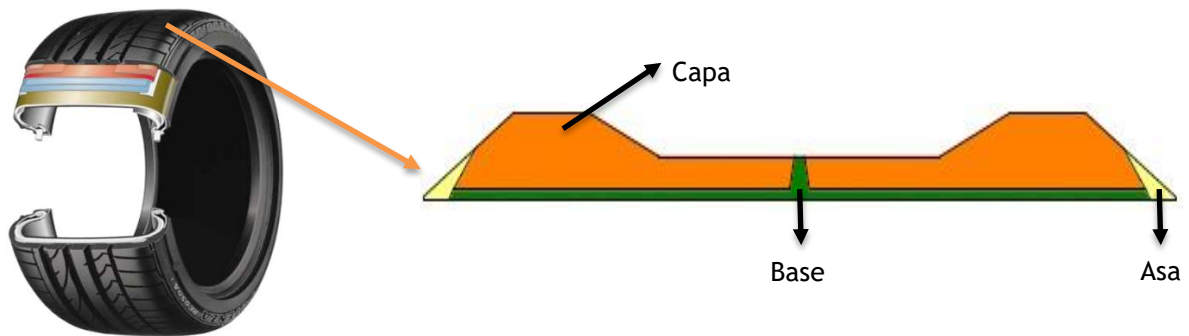


Figura 4-Distribuição dos compostos no piso de um pneu.¹

O piso pode ainda ser dividido em duas zonas geométricas: “ombro” e “centro”. O “ombro” corresponde à zona do piso onde se verifica maior espessura, enquanto o “centro” corresponde à região de menor espessura, tal como exemplificado na figura 5.

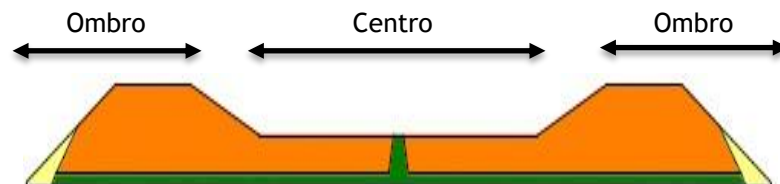


Figura 5-Zonas constituintes do piso de um pneu.

A **cinta têxtil** é constituída por cordas de *nylon* revestidas de borracha, e impede a expansão do pneu a altas velocidades. Nem todos os pneus utilizam cinta têxtil, uma vez que a sua aplicação irá variar conforme o tipo de solicitação - velocidade, carga - a que o pneu está sujeito.

As **cintas metálicas** contêm fios metálicos impregnados com borracha e permitem reforçar o pneu quanto à estabilidade direcional e resistência à deformação, reduzem a resistência ao rolamento, aumentando o seu período de vida útil.

A **camada estanque** é uma camada extrudida à base de borracha halobutílica com baixa permeabilidade ao ar, funcionando como câmara-de-ar nos pneus.

A **tela têxtil** é constituída por cordas em poliéster ou outro tipo de material (*rayon*) e são revestidas por borracha. Tem como objetivo ajudar ao reforço estrutural do pneu.

A **parede** corresponde a um perfil extrudido grosso e é responsável pela resistência à abrasão da parte lateral do pneu. Possui uma elevada composição de borracha natural, e destina-se a proteger o interior do pneu de eventuais danos laterais e das condições atmosféricas,

¹ <https://www.terra.com.br/economia/carros-motos/meu-automovel/conheca-todas-as-partes-de-um-pneu-e-suas-funcoes,e27429e46828f310VgnVCM20000099cceb0aRCRD.html>. Acedido em 13/03/2018.

nomeadamente pelo ozono. Este componente fornece uma área de borracha grossa na qual permite a gravação e identificação do pneu.

A **cunha de talão** é composta por borracha sintética e fornece estabilidade direcional, precisão na condução e melhora o conforto.

O **núcleo de talão** é constituído por fios de aço cobertos de borracha que têm como finalidade que o pneu fique firme na jante do veículo.

O **reforço de talão** trata-se de uma camada cuja constituição engloba fios têxteis, tais como *rayon* e *nylon* revestidos com borracha, e tem como função melhorar o conforto da condução.

Dentro dos vários componentes existentes no pneu, os compostos de borracha são os que existem em maior quantidade. Estes são constituídos por vários elementos, uma vez que as características mecânicas da borracha são muito fracas aquando da sua extração natural ou processamento industrial, tornando-se necessário desenvolver um composto de forma a conferir as características desejadas ao produto final. Cada composto de borracha tem a sua composição de acordo com as quantidades especificadas na receita sendo constituído por polímeros, cargas, antidegradantes, auxiliares do processo, sistemas de vulcanização e agentes químicos protetores. Cada uma das substâncias presentes no composto tem uma determinada função e um impacto na processabilidade, nas características finais do produto e no custo do composto de borracha (Lindenmuth, 2006).

No anexo A é feita uma breve descrição das matérias-primas presentes num composto de borracha.

2.2 Processo de Produção

O processo de produção de um pneu engloba 5 etapas que se encontram representadas na figura 6.

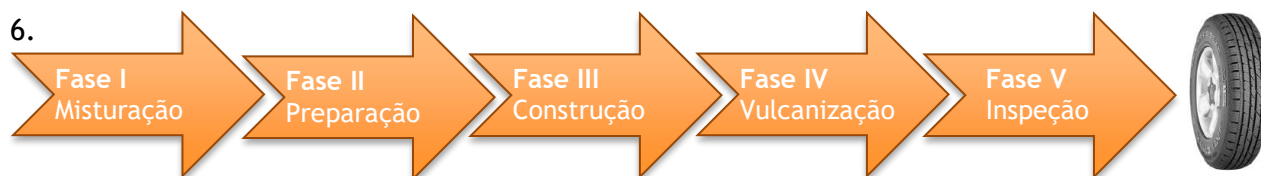


Figura 6-Etapas do processo de produção de um pneu.

É de referir que antes de se iniciar o processo produtivo todas as matérias-primas têm de ser monitorizadas de forma a antecipar eventuais problemas que poderão surgir durante o processo de fabrico de um pneu.

- **Fase I - “Misturação”**

O processo produtivo inicia-se com a mistura das matérias-primas anteriormente referidas de acordo com a composição especificada para formação dos compostos de borracha. Após pesagem seguem para o misturador, onde são adicionados em vários estágios; nos iniciais são adicionados todos os ingredientes com exceção do agente de vulcanização. No estágio final é

adicionado o enxofre, devido à necessidade de diminuição da temperatura do misturador para evitar pré-vulcanização. Completa a mistura dos ingredientes, o composto é transferido para um arrefecedor com uma unidade de corte, transformando a manta de material em tiras. De seguida, seguem para um equipamento designado por *cooling strip-off* onde são arrefecidas e imersas numa solução antiaderente. Após estas etapas, procede-se à sua secagem e condicionamento em paletes (Caetano, 2010).

- **Fase II - Preparação**

A fase II tem como objetivo a produção de todos os componentes de um pneu sendo constituída por 2 etapas: preparação a quente e a frio.

Na preparação a quente são fabricadas as paredes, pisos e cunhas de talão através do processo de extrusão dos compostos de borracha produzidos na etapa anterior. A preparação a frio é responsável pelo fabrico dos restantes componentes. Nesta etapa ocorre o processo de calandragem que consiste na impregnação de tecido têxtil ou metálico com borracha. Após isto, procede-se ao corte do tecido têxtil onde são produzidas as telas, cintas têxteis e os reforços de talão. O corte do tecido metálico dá origem às cintas metálicas.

- **Fase III - Construção**

Todos os componentes produzidos nas etapas anteriores são montados nos módulos de construção dando origem ao “pneu em verde” - pneu sem relevo. Os módulos de construção dividem-se em 2 partes, uma parte é utilizada para a construção da carcaça montada pela seguinte ordem: camada estanque, tela têxtil, talão e parede lateral, e a outra parte, junta à carcaça as telas metálicas, cinta têxtil e o piso.

- **Fase IV - Vulcanização**

Os pneus em verde são transportados às cabines de pintura para serem pintados interiormente, consistindo na sua lubrificação. Seguidamente, são transportados em carros e cada pneu é colocado num diafragma, onde é submetido a um ciclo de vulcanização - aproximadamente de 10 min - onde circula vapor de água a elevadas temperaturas - 170 °C - e a uma pressão de 6 bar, e é aplicado um molde que dará o aspeto final ao pneu. Com esta operação, o pneu vai adquirir um padrão que lhe é confinado pelo molde e as propriedades mecânicas necessárias à sua utilização em serviço, isto é, a elasticidade necessária, resistência ao desgaste e aderência, entre outros requisitos.

- **Fase V - Inspeção Final**

A última fase do processo de manufatura do pneu consiste em ações de inspeção de forma a garantir a qualidade, segurança e o cumprimento dos requisitos estabelecidos. O operador efetua vários testes, inspecionando-os visualmente de forma a certificar que as características

exteriores estão conforme o especificado, realiza os testes de uniformidade para avaliar a distribuição de forças - radiais, laterais e conicidade - no interior do pneu e verifica se existem saliências ou depressões.

2.3 Processo de Extrusão de Pisos

Como referido na secção 2.2, alguns dos componentes do pneu, como o piso, parede lateral e cunha de talão são extrudidos. Trata-se de um processo de compressão na qual os compostos de borracha são transportados por um parafuso sem-fim protegido por uma camisa, e forçados a escoar através de uma matriz para formar uma peça contínua e longa cuja forma da secção transversal é determinada pela forma da matriz projetada, neste caso pela fieira (Tadmor e Gogos, 2006).

Atualmente, a produção de pisos de pneu é feita através de linhas de coextrusão, o que significa que num só sistema, várias extrusoras convergem para a mesma cabeça de extrusão permitindo que o piso seja constituído por tantos compostos de borracha diferentes quanto o número de extrusoras. A título de exemplo, caso a linha de extrusão possua 5 extrusoras, uma possível distribuição dos compostos é apresentada na figura 7. É de realçar que o piso pode ter uma geometria diferente quando comparado com o da figura 4, uma vez que a sua forma depende das especificações pretendidas pelo cliente. É ainda de salientar, que o composto “CCB” tem como função garantir a descarga elétrica para o solo e é utilizado quando o composto “base” não apresenta na sua constituição negro de fumo.

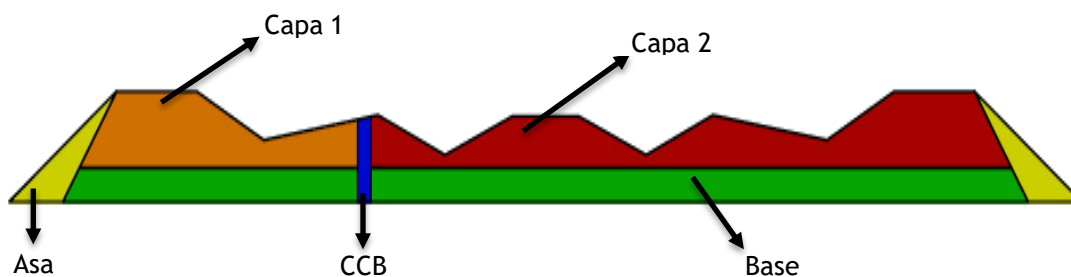


Figura 7-Exemplo de um perfil de piso com 5 componentes.

Na prática, as linhas de extrusão podem ser bastante longas e são compostas por um conjunto de equipamentos. Na figura 8 está representada uma linha de extrusão com 3 extrusoras - triplex. A linha de extrusão abordada nesta dissertação é uma linha com 5 extrusoras - quintuplex -, pelo que as únicas diferenças situam-se na quantidade de extrusoras e portanto na diversidade de compostos de borracha que um piso poderá conter, e na câmara de “Cimentação”. Apesar de a figura 8 não contemplar as ferramentas de medição de perfil - perfilómetros - é indicada a sua localização na linha de extrusão em análise.

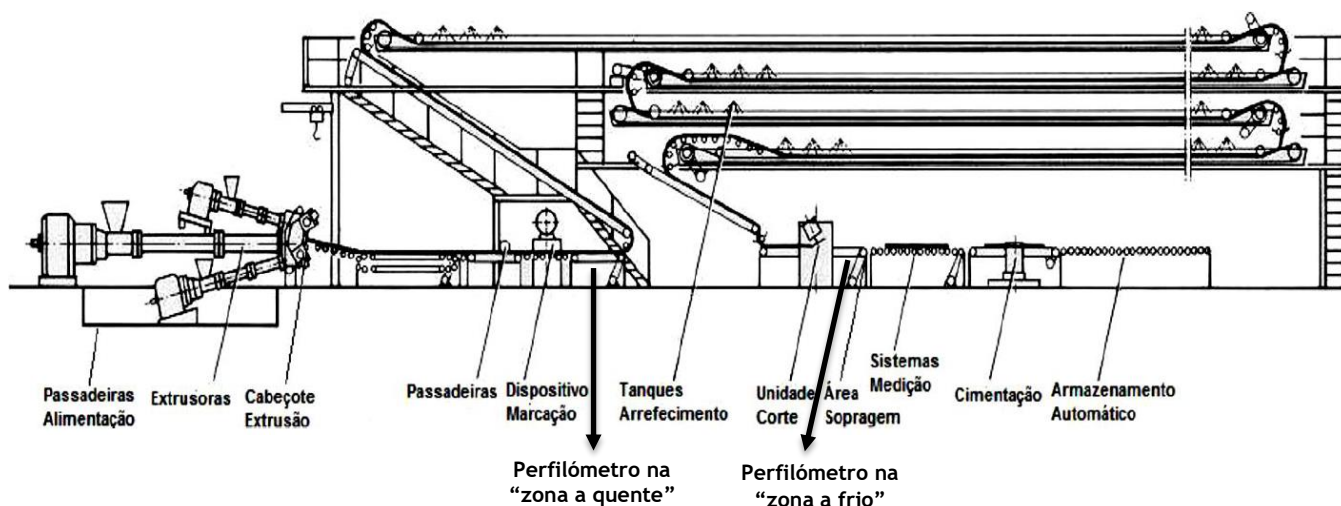


Figura 8-Linha de Extrusão Triplex (adaptado de Continental Pneus, 2018).

2.3.1 Alimentação à extrusora

A alimentação dos compostos à extrusora representa um papel bastante importante na qualidade da extrusão, pelo que é necessário que seja um processo o mais estável possível. Com base no tipo de alimentação, existem dois tipos de extrusoras de borracha a serem consideradas. As extrusoras de alimentação a quente foram as primeiras a ser desenvolvidas e utilizadas na indústria da borracha, e o composto tem de ser pré-aquecido e plastificado em misturadores abertos - misturadores de rolo, cilindros ou moinhos de aquecimento - para se obter a viscosidade e a temperatura desejada de forma a facilitar o escoamento da borracha no cilindro da extrusora (Caetano, 2010). Em contrapartida, as extrusoras de alimentação a frio não requerem um pré-aquecimento do material.

Embora não exista um consenso geral sobre as vantagens deste tipo de extrusora, estas são pensadas para reduzir os custos de investimento em equipamento, economizar energia, melhorar o controlo da temperatura dos diferentes compostos, reduzir a mão-de-obra, facilitar a manutenção e proporcionar a capacidade de lidar com uma maior variedade de compostos (Rauwendaal, 2014).

De forma a evitar danos no parafuso ou no cilindro, é utilizado um transportador de alimentação com um detetor de metais para eliminar as partículas de metal que o material possa conter. Na figura 9 é possível ver como é feito este processo de alimentação na Continental Mabor. As extrusoras de alimentação a frio são utilizadas neste processo, em que o material está sob a forma de tiras/fitas. Cada composto é alimentado a uma tremonha, caindo sob a ação da gravidade sobre o parafuso.

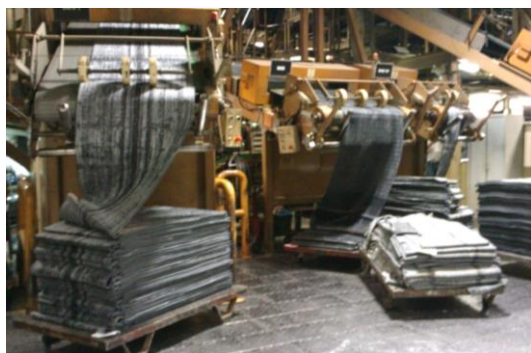


Figura 9-Alimentação dos materiais à extrusora.

2.3.2 Extrusora

As extrusoras diferem essencialmente no modo de operação: contínuo ou descontínuo /extrusora tipo *batch*. As extrusoras contínuas utilizam um elemento rotativo para transportar o material e fornecem um fluxo contínuo de produto enquanto as descontínuas operam de forma cíclica e o transporte do material é feito com um elemento alternativo, que poderá ser um pistão ou um êmbolo (Rauwendaal, 2014).

No processo de extrusão da borracha são utilizadas maioritariamente as extrusoras em contínuo, nomeadamente extrusoras de parafuso com passo decrescente variável, visto que oferecem um elevado nível de produtividade (Caetano, 2010).

De acordo com a figura 10, o parafuso pode ser dividido tipicamente em 3 zonas distintas: zona de alimentação em o material é recebido e transportado; zona de compressão onde o material é comprimido e plastificado e zona de plastificação onde ocorre a homogeneização do material e a temperatura é elevada até à temperatura desejada. Os limites para cada secção não são rígidos uma vez que são influenciados pelas propriedades dos compostos, pela geometria da máquina e pelas condições operatórias (Rauwendaal, 2014).

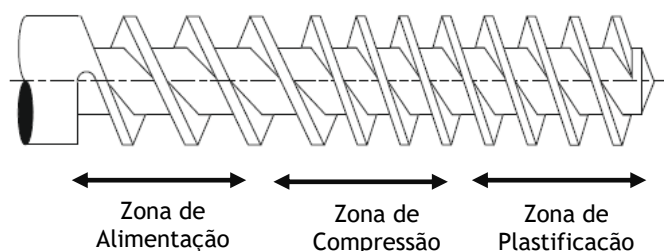


Figura 10-Geometria típica do parafuso para extrusão de compostos de borracha (adaptado de (Rauwendaal,2014))

O funcionamento de uma extrusora de parafuso sem-fim baseia-se na alimentação do material à tremonha e este desloca-se para dentro da extrusora por gravidade. Dentro da camisa, o material fica situado no espaço anular entre esta e o parafuso sem-fim tal como representado na figura 11.

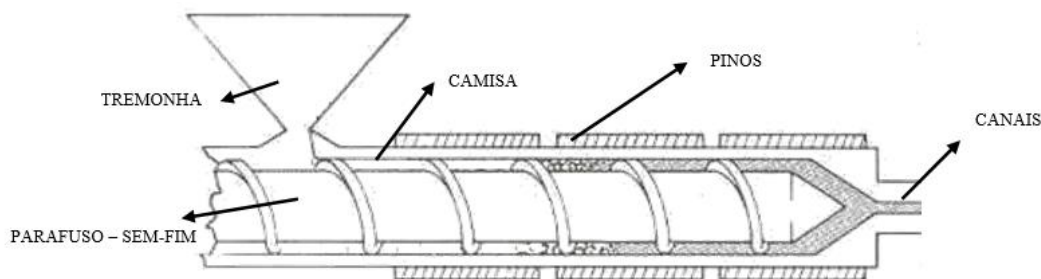


Figura 11-Representação de um corte da camisa, com sem fim de diâmetro constante (Continental Pneus, 2018).

A camisa/cilindro fica em estado estacionário enquanto o parafuso tem um movimento de rotação pré-determinado pelo operador. À medida que o parafuso gira, o movimento da borracha ao longo do parafuso irá depender da adesão ou da não-adesão do material ao parafuso e ao cilindro. Desta forma, podem acontecer 2 casos extremos; o primeiro ocorre quando o parafuso e o material rodam como se fossem um cilindro sólido impedindo que o material atinja o fim da extrusora, sendo claramente indesejável; o segundo caso refere-se à situação ideal, em que o material desliza ao longo do parafuso e tem uma alta resistência à rotação dentro do cilindro o que levaria a um movimento puramente axial do material amolecido/plastificado. Na prática, o comportamento está entre estes dois extremos, uma vez que o material adere tanto ao parafuso como ao cilindro. Assim, verifica-se que o material que sai da extrusora é resultado do fluxo de arrasto devido à interação do parafuso rotativo e do cilindro estacionário (Crawford, 1998).

Como o objetivo é tornar o material que se encontra no estado sólido num estado amolecido/plastificado, a extrusora possui bandas de aquecimento que irão aquecer as paredes da camisa e o parafuso. Este aquecimento também é auxiliado pelo calor resultante das forças friccionais - atrito - geradas pelo material em movimento e as partes fixas da extrusora e, também pelas ações de corte provocadas pelo parafuso. Também são utilizados uns pinos na camisa que se prolongam para além da espessura desta, de forma a aumentar a temperatura dentro do cilindro para ajudar à plastificação do composto. O parafuso representa um dos componentes mais importantes da extrusora gerando cerca de 80 % da energia térmica e mecânica necessária para transformar o material (Strong, 2006).

Quando o material chega ao cabeçote de extrusão, através dos canais, o composto é guiado até à pré-fieira - molde que tem como função distribuir os compostos no perfil desejado, definindo o perfil interior do piso - e entra na fieira - molde que define o perfil exterior do piso -, adquirindo a forma desejada. Uma vez que a matriz exerce uma resistência ao escoamento, é necessária uma pressão para forçar a passagem do material na mesma. Esta pressão é denominada por *diehead pressure* e depende de fatores como a forma da fieira, temperatura de plastificação, velocidade do caudal através da fieira e das propriedades reológicas do material.

2.3.3 Fieira

A fieira tem como função conferir a forma ao material que está a ser extrudido. A sua forma depende do perfil nominal pretendido e dos diferentes compostos utilizados. As fieiras são feitas de aço de construção de forma a suportar a temperatura e a pressão a que estão a ser submetidas. Na figura 12 é apresentada uma fieira utilizada na produção de pisos.

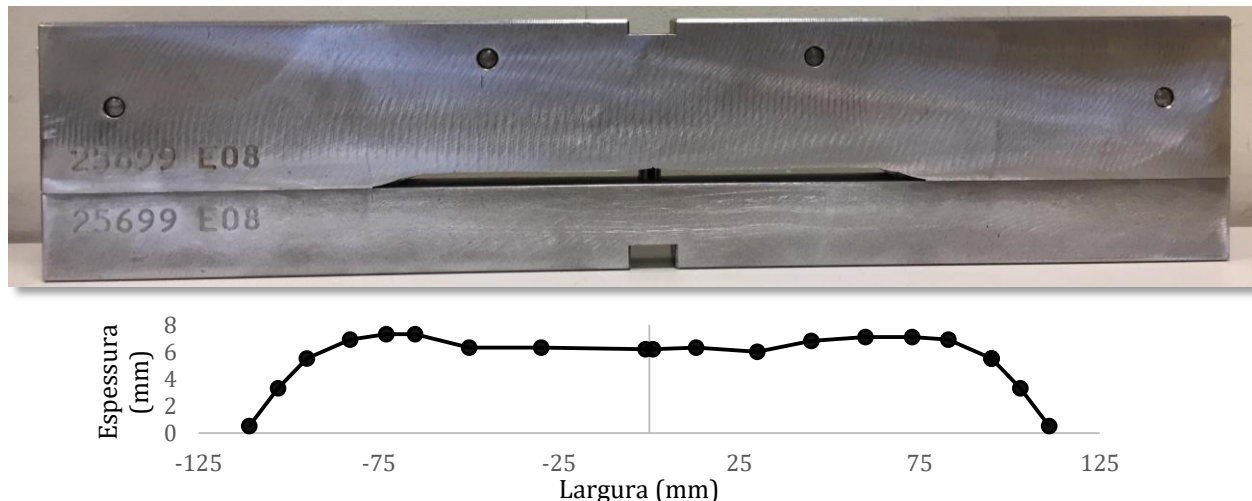


Figura 12-Exemplo de uma fieira (em cima) e respetivo perfil (em baixo).

O controlo do tamanho do piso é uma das maiores dificuldades neste processo uma vez que, à medida que o material extrudido deixa a fieira, irá ocorrer o seu inchamento sofrendo alterações ao nível do tamanho e forma. Esse efeito, designado por *Die Swell*, é muito comum neste processo devido à natureza viscoelástica dos compostos de borracha e é quantificado através da razão entre o diâmetro do material extrudido - D - e o diâmetro da fieira - D_0 (Kocsis, 1999). Uma representação deste fenómeno é evidenciada na figura 13, verificando-se uma expansão do composto na direção normal ao escoamento após passagem pela fieira.

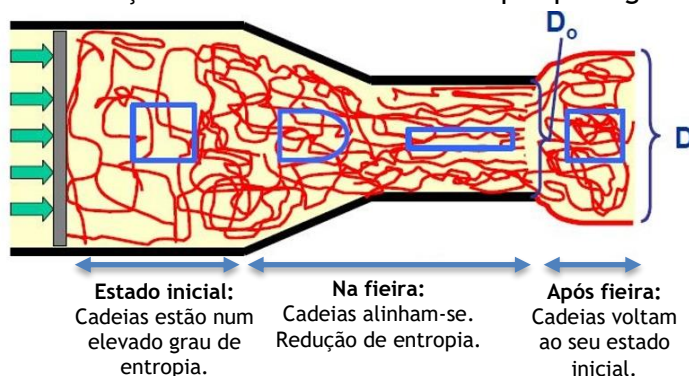


Figura 13-Die Swell.²

Do ponto de vista reológico, este inchamento ocorre devido à orientação das cadeias poliméricas na direção do escoamento dado que, à entrada da fieira, as cadeias estão num estado elevado de entropia, ou seja, com um elevado grau de desordem. Ao atravessarem a

² <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=13578>. Acedido em 17/03/2018.

fieira, as cadeias alinham-se levando a uma redução de entropia. Como não estão na sua conformação mais estável, o material tenta recuperar a sua deformação elástica mas devido ao desequilíbrio entre deformação e recuperação há uma parcela de deformação elástica que o material não consegue recuperar. Assim, quando o material sai da fieira, as moléculas reorientam-se, ocorrendo relaxação molecular e o material recupera esta parcela de deformação elástica. Este efeito é designado por “Efeito Memória” (Wang, 2012; Strong, 2006). De forma a antecipar este fenómeno, o perfil da fieira irá ser sempre reduzido a uma escala específica, que varia entre 2 % e 6 %, em comparação com o perfil final pretendido para o piso. Para além disto, de forma a minimizar a interferência deste fenómeno, é adicionado um enchimento/carga, inibindo esta propriedade elástica ao interferir com a mobilidade das moléculas de elastómero (Stabik, 2004).

2.3.4 Ferramentas de medição do perfil

O controlo de qualidade é muito importante na prática industrial, pelo que é necessário monitorizar e verificar continuamente todas as etapas do processo. Trata-se de uma necessidade de forma a reconhecer e a qualificar as características de um produto semi-acabado ou finalizado. Na extrusão de pisos, a definição da secção geométrica transversal é um dos principais critérios, pelo que se torna necessário medir e avaliar esta característica da borracha extrudida.

As técnicas de medição podem ser divididas em duas categorias: de contacto e de não-contacto. Nas técnicas de contacto é utilizada uma “caneta” em que a sua ponta é geralmente feita de diamante para medir o perfil da superfície. Uma desvantagem associada a este tipo de medição é o facto de a ponta da “caneta” não conseguir traçar a superfície corretamente, dando-nos uma imagem “filtrada” do perfil da superfície. Outra desvantagem assenta na força exercida pela “caneta” que poderá danificar a superfície do piso (Leach, 2001).

Os perfilómetros utilizados na Continental Mabor são perfilómetros contínuos/*online* de não-contacto. Este método apresenta várias vantagens em relação ao método de medição de contacto uma vez que não exige partes mecânicas móveis nem qualquer tipo de contacto com o objeto de medição, é independente das condições ambientais, e possibilita a medição de produtos semi-acabados com uma adaptação rápida a diferentes superfícies diretamente na linha de extrusão (Propawe, 2011). Estes perfilómetros processam os dados medidos - espessura e largura - em tempo real e comparam com o perfil nominal, uma vantagem dado que podem ser utilizados na resposta de correção nos circuitos de controlo que monitorizam o processo de extrusão (Janosik, 2017).

Na Continental Mabor existem 2 perfilómetros iguais localizados na linha de extrusão sendo que o primeiro se encontra na “zona a quente” da linha de extrusão, após o piso ter sido extrudido e será denominado neste projeto por perfilómetro na “zona a quente”, e o segundo se encontra

localizado no fim da linha de extrusão, após o equipamento de corte, sendo designado por perfilómetro na “zona a frio”. Na figura 14 está representado apenas o perfilómetro na “zona a quente”, visto que o outro é uma réplica do exibido. É ainda apresentada uma visualização da imagem fornecida por esta ferramenta sendo possível verificar a existência de 2 perfis. O que se encontra representado por uma linha verde corresponde ao perfil obtido da superfície do piso no instante/momento desejado e, o perfil representado por uma linha azul tracejada exhibe o perfil nominal quente, isto é, o perfil que o piso terá de exibir na “zona a quente” para que no final da linha de extrusão se obtenha o perfil pretendido.

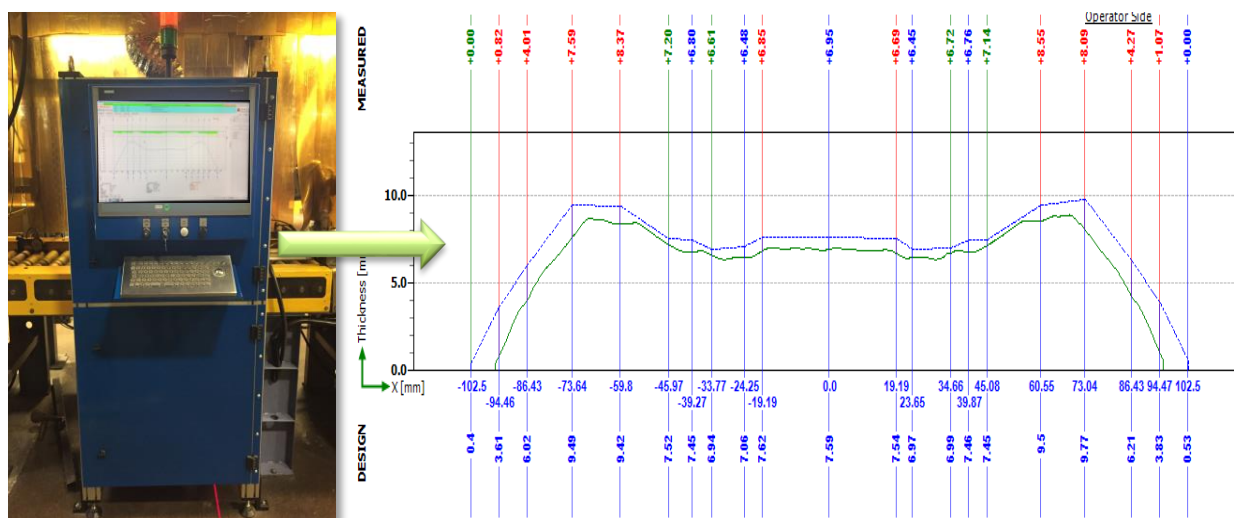


Figura 14-Perfilómetro instalado na linha de extrusão (lado esquerdo) e ampliação da imagem exibida pelo mesmo (lado direito).

2.3.5 Dispositivo de Marcação

O dispositivo de marcação tem como objetivo conferir ao material extrudido um código de cores que identifica o pneu dentro da fábrica e serve para controlo por parte do cliente, tal como representado na figura 15. Através de um equipamento designado por *video jet*, é marcado no piso qual o composto da “capa” utilizado, turno em que foi produzido, código da receita e data do produto extrudido.



Figura 15-Dispositivo de Marcação.

2.3.6 Sistema de arrefecimento e secagem

Após passagem pela fieira, o piso extrudido ainda se encontra quente sendo necessário proceder ao seu arrefecimento em tanques de água e *sprays* para estabilizar as suas propriedades. Este arrefecimento irá afetar as propriedades reológicas bem como a geometria do piso devido à sua contração. Todas as partes do produto devem ser arrefecidas uniformemente de modo a que não se verifique um encolhimento diferencial, causado pela diferente orientação molecular (Giles et al, 2005). Na figura 16 está representado o primeiro tanque de arrefecimento na linha de extrusão em análise.

Após o arrefecimento, o piso extrudido passa para uma unidade de secagem com sopradores na parte superior e inferior, que irão retirar/secar os restos de água existentes no piso em ambos os lados. Trata-se de uma operação bastante importante uma vez que se os pisos não forem devidamente secos, durante o processo de vulcanização são originadas bolhas de ar que provocam separações dos componentes dos pneus. Uma representação deste equipamento é apresentada na figura 17.



Figura 16-Tanques de arrefecimento.



Figura 17-Sopradores.

2.3.7 Sistema de corte

Após secagem, o material passa por uma unidade de corte automática escolhida de acordo com a natureza do produto extrudido e da variação que poderá causar nele. O material será cortado com comprimentos pré-definidos. Este corte é bastante importante já que um corte na medida certa vai evitar a necessidade de esticar ou relaxar durante a sua aplicação na construção, o que resultaria em separações no pneu e uma má uniformidade do piso. Uma vez terminado este processo, os perfis são guiados para a estação de armazenamento automático. Estes equipamentos estão representados na figura 18 e 19.



Figura 18-Equipamento de corte.



Figura 19-Equipamento de armazenamento automático.

2.3.8 Problemas associados

Os problemas associados à extrusão variam substancialmente de fábrica para fábrica. A incapacidade de solucionar estes problemas pode resultar numa má qualidade de extrusão, tempo de inatividade excessivo e baixa produtividade (Sommer, 2013).

Uma das limitações presentes no processo de extrusão é a temperatura de operação das extrusoras. Embora temperaturas altas favoreçam o escoamento do fluxo e sejam desejáveis para uma extrusão eficiente, esta tem de ser extremamente controlada a fim de se evitar a formação de ligações cruzadas - vulcanização -, que os tornaria duros e rígidos, ao invés de macios e flexíveis para fácil manuseamento nas fases seguintes de manufatura (Crowther, 1998). Outro fator que irá causar as mesmas consequências, caso não seja devidamente monitorizado, é a velocidade do parafuso da extrusora, visto que o aumento da mesma implica maiores forças friccionais entre o parafuso e o material e conseqüentemente um aquecimento adicional (Dick, John S., 2006).

Outro problema associado a este processo é a porosidade, que consiste em bolhas de ar presentes no piso extrudido, representando um dos fatores responsáveis pela geração de *workoff* uma vez que interferem nas propriedades finais do extrudido. De forma a minimizar este fenómeno, a presença de humidade e de outros compostos voláteis presentes nos compostos de borracha deve ser eliminada após a fase I - “Misturação”, deve haver uma seleção cuidadosa da temperatura e pressão durante o processo de extrusão e não deve haver quebras de alimentação ou arrefecimento do parafuso. Outro fator importante é o tempo de armazenagem dos compostos de borracha, que não deve ser longo, uma vez que a eficácia do absorvedor de humidade presente nestes compostos irá ser reduzida devido à absorção da humidade atmosférica e, uma vez diminuída, o aparecimento de porosidade é inevitável, causando graves problemas na vulcanização (Caetano,2010; Dick, John S., 2006).

Tal como já foi referido na secção 2.3.3., quando o material deixa a fieira verifica-se o seu inchamento pelo que é bastante importante o controlo da mesma para manter uma boa estabilidade dimensional do material extrudido. Segundo Wang (2012), este fenómeno está

relacionado com as propriedades reológicas dos compostos de borracha - efeito da tensão normal, energia elástica, entropia e pela memória do polímero - bem como por fatores externos tais como taxa de deformação aplicada, geometria da fieira, velocidade do parafuso da extrusora e temperatura. Fatores como comprimento da fieira - se for aumentado menor será o *die swell* -, estado da mistura, e composição dos compostos de borracha visto que compostos com maiores quantidades de cargas tendem a exibir menos inchamento, também contribuem para este fenômeno (Dick, John S., 2006).

Outros fatores limitantes no processo de extrusão do piso são a homogeneidade e o encolhimento. Os problemas de homogeneidade são reconhecidos através da análise da superfície do piso - defeitos e rugosidade. Os defeitos podem ser causados por uma fraca mistura dos materiais constituintes dos compostos de borracha e por aglomerados de composto vulcanizado, isto é, pode haver uma fração do composto que sofreu vulcanização devido à temperatura e tempo elevado a que foi submetido. Relativamente à rugosidade, fatores como inadequada reologia dos compostos e geometria da fieira podem ser a causa deste problema.

O segundo fator é o encolhimento. Durante a extrusão os compostos de borracha são orientados na direção do escoamento e ao saírem da fieira, ficam “livres” para se moverem tendendo a voltar ao seu estado inicial, de entropia máxima, o que significa que o perfil irá inchar. Caso as passadeiras que transportam o piso ao longo da linha de extrusão após saída da fieira tenham uma velocidade que cause o esticamento do piso, o inchamento será impedido dificultando o processo natural de reorientação e, o piso irá encolher assim que forem libertadas as tensões internas (Nijman, 2017). Uma representação deste fenômeno é evidenciado na figura 20.

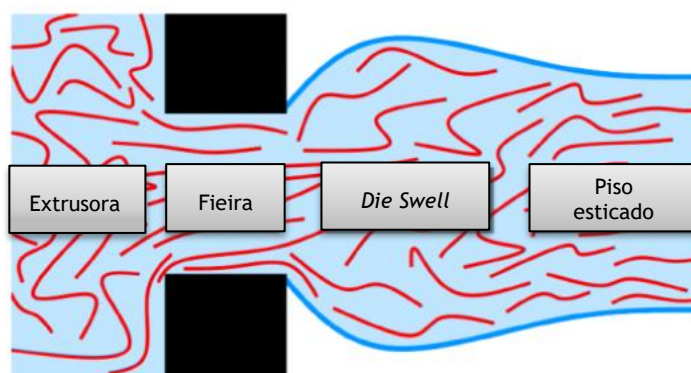


Figura 20-Efeito do esticamento após a fieira (adaptado de Nijman, 2017).

Uma vez que tensão implica encolhimento, quanto menor for a tensão no perfil, menos encolhimento será esperado. Assim, a adoção de uma extrusão relaxada deve ser tida em conta para melhorar a capacidade do processo de uma linha de extrusão, permitindo o comportamento natural do composto. A fieira deve ser concebida de modo a que o inchamento do composto extrudido deva ser obedecido e que não hajam esticamentos no piso extrudido.

No anexo B, é apresentada uma descrição mais detalhada sobre como e de que forma este procedimento deve ser implementado num processo de extrusão e qual o seu impacto na extrusão de pisos.

2.4 Caraterização do problema

Prever o perfil de uma fieira é uma tarefa muito complexa e requer um elevado conhecimento das características do material, dos fenómenos de transferência de massa e de calor, e sobretudo uma elevada experiência dos técnicos no processo de extrusão.

Rauwendall (1986) reconheceu que o processo de abertura de fieiras era uma tarefa bastante difícil e que era necessário recorrer a um método iterativo, tentativa-erro. Segundo Kostic e Reifschneider (2006) este processo de abertura de uma fieira é “mais uma arte do que uma ciência”, embora tenham desenvolvido alguns progressos através da computação e modelação do comportamento antes, através e depois da fieira para a otimização deste processo.

Atualmente, este processo de abertura de uma fieira é realizado por um técnico com base no seu conhecimento e sensibilidade pelo que são necessárias várias retificações da fieira até se obter um piso dentro das tolerâncias especificadas pela empresa - largura ± 3 mm e espessura $\pm 0,5$ mm -, tratando-se de um procedimento iterativo e precisando em média de um período de uma semana para ser elaborado. Uma vez que há a necessidade de se obter respostas o mais rápido possível de modo a satisfazer as necessidades e exigências do cliente, torna-se necessário desenvolver alguma solução para reduzir este tempo de manufatura. Assim, o objetivo proposto para esta dissertação consiste em reduzir o tempo de fabrico de uma fieira para a produção de pisos de pneu.

Na Continental Mabor, este processo inicia-se com a análise e interpretação do piso pretendido denominado por piso nominal ou *guts*, e é criado um perfil de fieira com base nestas características e “cortado” na *CNC Machine*. No entanto, esta precisa de ser testada no processo de extrusão, o que envolve uma paragem no processo de produção em contínuo de 1h30min, a realização de 5 ciclos de extrusão e uma geração de *workoff* de 1200 kg de composto de borracha. Estes compostos não serão desperdiçados uma vez que irão ser aproveitados na fase I - “Misturação” para formar novamente compostos de borracha e posteriormente serem utilizados na produção de pisos. Uma vez acabado o processo de extrusão, corta-se uma secção de piso e procede-se à sua análise no perfilómetro *offline* instalado no DATP. Se o perfil estiver conforme com o pretendido - perfil nominal - não há necessidade de se alterar a fieira. Caso contrário, as dimensões da mesma terão de ser novamente alteradas e repete-se o processo acima descrito. Trata-se de um processo que envolve requisição da linha de extrusão por vários dias visto que o acerto das dimensões da fieira é demorado, e implica um elevado número de

set-ups - mudança de composto e fieira. Na figura 21 encontra-se representado o ciclo de abertura de uma fieira.

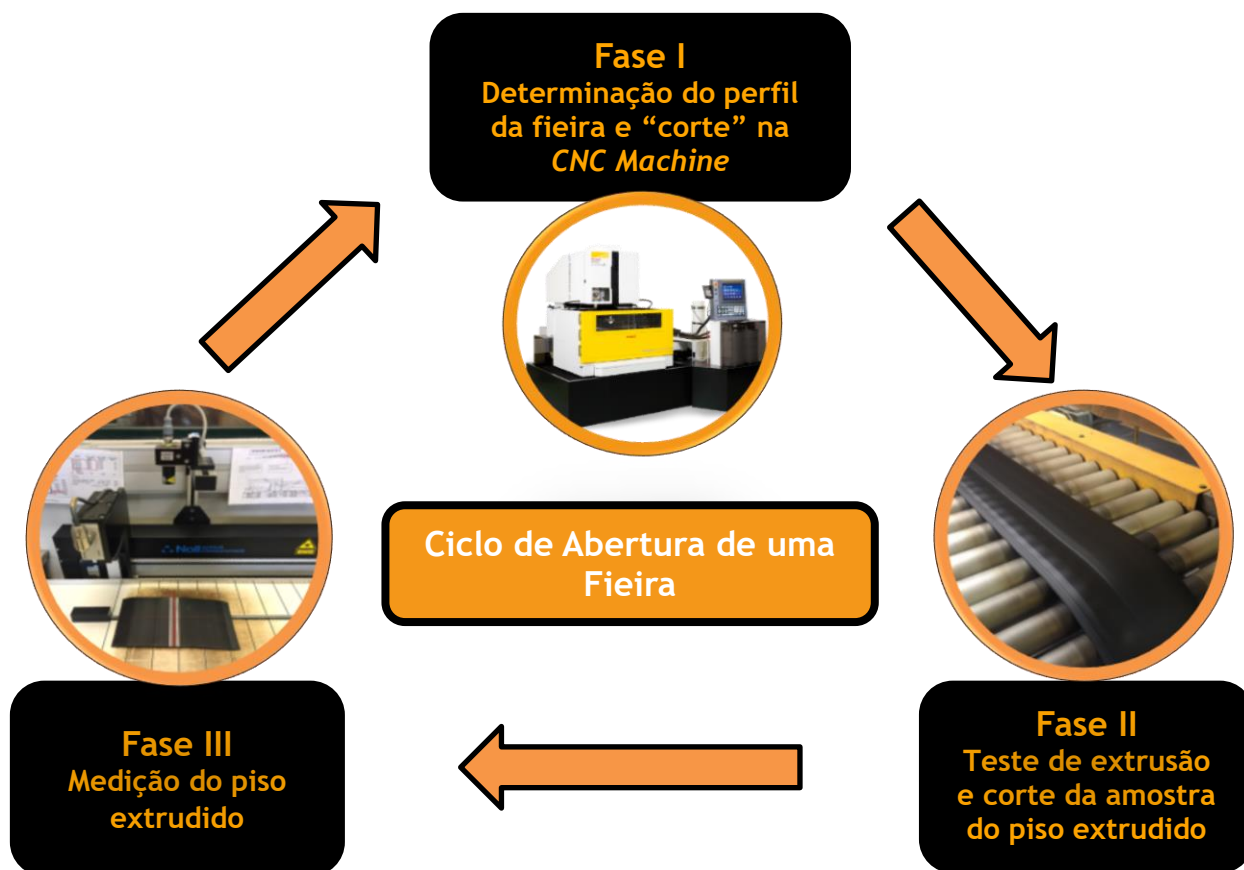


Figura 21-Método atual de produção de uma fieira.

2.4.1 Revisão bibliográfica

Vários autores têm tentado desenvolver métodos de otimização do processo de abertura de fieiras de forma a torná-lo mais rápido e eficaz. De seguida são apresentadas várias propostas de melhoria para este processo.

Segundo Michaeli (1984) este processo de abertura de fieira seria resolvido através da aplicação de uma "regra básica", em que o perfil de uma fieira deveria ser reduzido entre 10 % a 15 % das dimensões do perfil nominal.

De acordo com Brause e Pietruschka (1998), a redução do tempo de fabrico de uma fieira passa pela aplicação de um método de controlo adaptativo ao invés de uma solução convencional, visto que para além da escolha ideal dos parâmetros que influenciam o processo não estarem disponíveis por vários motivos, a natureza não linear da mistura macromolecular faz com que esta tarefa não possa ser resolvida analiticamente. Em vez disso, os técnicos estimam o perfil da fieira com base na sua experiência e corrigem as suas estimativas após experiência da mesma - processo tentativa-erro. Assim, a tarefa proposta pelo autor consiste em estimar a melhor forma do perfil da fieira de forma a ser obtido um piso aceitável. Para tal, foram utilizadas as Redes Neurais Artificiais e a lógica *Fuzzy*. O algoritmo de aprendizagem desenvolvido não tem

em conta as variáveis do processo ou outro conhecimento intrínseco, mas apenas parâmetros do processo mensuráveis - peso por metro e o perfil de borracha resultante. Com a rede neuronal, o processo de estimativa e correção de fieira passa a ser automático, apresentando inúmeras vantagens tanto ao nível económico como para o técnico.

Segundo o estudo realizado por Nóbrega et al (2002), o dimensionamento de uma fieira passa pela compreensão do comportamento do fluxo na matriz, sendo necessário o desenvolvimento de um *software 3D* baseado no método dos volumes finitos e, de dois algoritmos de otimização, associados a uma função objetivo para encontrar o perfil da fieira ideal. Segundo os autores, esta metodologia de *design* automático de uma fieira mostrou grande potencial, funcionando bem, rápido e sem intervenção de um técnico, numa fieira com geometria complexa.

Kauzlarich (2005) defende que prever o perfil de uma fieira através da análise numérica tridimensional da dinâmica de fluidos é um processo complicado e envolve na mesma tentativa-erro. Como tal, o autor propõe o desenvolvimento de um método de abertura de fieira através da modelação computacional aplicando o método de elementos finitos. Esta metodologia é referenciada a uma analogia entre a deflexão da fieira e o fluxo de fluido com número de *Reynolds* baixo, uma vez que para baixos números de *Reynolds*, o inchamento após fieira ou contração é da ordem dos 10 a 300 % dependendo do perfil da fieira, composição do material, velocidade do parafuso da extrusora, temperatura, entre outros. Segundo o autor, utilizando uma percentagem de inchamento num ponto do material extrudido, é possível prever noutros pontos do mesmo.

O estudo feito por Starrett-Bytewise (2013) explora a variação dos parâmetros dimensionais do piso do pneu extrudido. A metodologia foi baseada na medição da largura e espessura do piso em 2 pontos no processo de extrusão através da leitura dos perfis em perfilómetros instalados na linha de extrusão. O primeiro ponto situado logo após a passagem do composto na fieira, na “zona a quente”, e o segundo ponto, no fim da linha de extrusão, onde o piso se encontra frio e com uma certa contração. Todos os testes que os autores realizaram foram conduzidos na mesma extrusora e com a mesma fieira de forma a minimizar qualquer variação externa. Foi verificado pelos mesmos que a contração da espessura para o composto utilizado foi de 2 a 4 % ao longo de um período de amostragem de 8 dias. A mesma conclusão é aplicada à contração de largura, onde o mínimo registado foi de 1,3 % e o máximo de 2,1 %.

Segundo Ordieres et al (2014), o *design* de uma fieira é um processo muito complexo, feito através de um procedimento tentativa-erro, com múltiplos testes e modificações. Isto, porque ainda não é possível conhecer o comportamento do fluxo e a sua sensibilidade às mudanças não são conhecidas. A solução desenvolvida pelo autor passa pela diminuição do número de iterações, através da compreensão do comportamento do fluxo na fieira, sendo necessário o uso da análise numérica tridimensional e o conhecimento das propriedades específicas do

material. Assim, através do conhecimento do comportamento do fluxo dentro da matriz, do inchamento do material após saída na fieira e dos efeitos térmicos, o técnico irá conseguir projetar a fieira de uma forma mais eficaz. Como resultado da aplicação desta proposta, o número de tentativas-erro, tempo de fabrico de uma fieira e os custos associados a este processo serão reduzidos.

Embora existam várias propostas de otimização deste processo, a Continental AG ainda não possui nenhum método para tornar este processo mais rápido. Apesar de já terem sido feitos estudos sobre o comportamento de cada composto de borracha no processo de extrusão, nenhum se tornou eficiente no processo de abertura de uma fieira. O método desenvolvido nesta dissertação surge como uma novidade neste setor, capaz de tornar este processo mais simples e eficiente.

2.5 Solução Proposta

De forma a otimizar o processo de abertura de fieiras pretende-se estabelecer uma correlação entre o perfil do piso medido na “zona a quente” com o perfil do piso medido na “zona a frio”. Esta análise através da medição em 2 pontos na linha de extrusão é necessária uma vez que irão ocorrer variações dimensionais no piso devido à contração do material nos tanques de arrefecimento; desta forma pretende-se também estudar a influência de variáveis do processo que poderão estar a contribuir para este comportamento do material aquando da sua contração.

Com o desenvolvimento desta correlação pretende-se definir o perfil nominal quente para que no final da linha de extrusão se obtenha o perfil pretendido, e assim, quando o operador estivesse a testar a fieira no processo de extrusão, através da análise do perfil do piso a quente saberia se o piso frio estaria conforme o piso nominal, e caso não fosse concordante, o processo seria interrompido, e o perfil da fieira seria alterado por um técnico numa máquina adjacente ao perfilómetro denominada por *Portable CNC Milling Machine* - “Mini Mill” -, dando continuidade ao teste da fieira na extrusora. A “Mini Mill” consiste numa máquina igual à existente na oficina do DATP para o ajuste de fieiras, mas neste caso, em menor escala. Este novo método de abertura de fieiras encontra-se apresentado na figura 22 e tem de ser simples e de fácil aplicação para que qualquer técnico o consiga utilizar eficazmente.

Com esta alteração no método de produção de fieiras são estimadas várias vantagens uma vez que conseguiríamos uma redução do tempo de testagem para aproximadamente 45 min, o número de ciclos de extrusão para testar a fieira seria 1, o número de set-ups de 1 e a geração de *workoff* seria menor que 600 kg. Para além disto, seria possível garantir as mesmas condições operatórias aquando do teste da fieira bem como evitar o envelhecimento dos materiais, sendo apenas necessário 1 dia para dar resposta ao cliente.

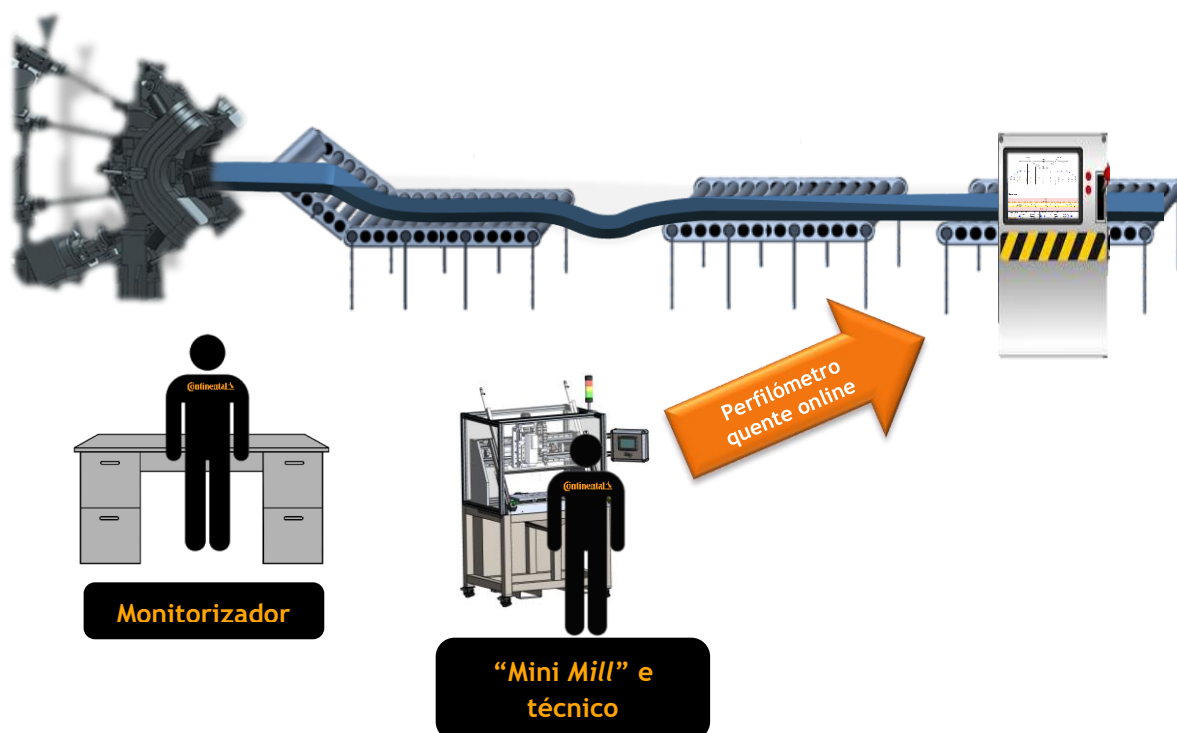


Figura 22-Descrição do novo processo para a abertura de uma fieira.

2.6 Sumário

Após a inserção do autor no problema em estudo, algumas conclusões podem ser tiradas neste capítulo. Primeiro, verificou-se que o piso é um componente do pneu extremamente importante pelo que a sua produção tem de ser o mais rigorosa possível para não haver falhas nem problemas associados ao pneu. Além disso, sabendo que cada piso possui um determinado perfil em função do que é pretendido pelo cliente, a fieira utilizada no processo de extrusão terá também de ter um perfil específico para se obter o perfil de piso desejado. No entanto, não se trata de um processo simples; o técnico de fieiras tem de determinar qual o perfil ótimo da fieira com base no seu conhecimento, experiência, e tem de realizar testes no processo de extrusão até que o perfil da fieira esteja a produzir o piso desejado, o que acarreta paragens de produção, geração de *workoff* e o período de uma semana para a fieira estar concluída.

A motivação da revisão literária foi baseada não só em tópicos pertinentes para o estudo mas também como um propósito de contextualização e visão geral sobre como e de que forma este problema se insere e afeta a indústria do pneu. Assim, verificou-se que esta é uma dificuldade presente na indústria, pelo que novos métodos têm sido desenvolvidos para tornar este processo mais eficiente, pretendendo-se nesta dissertação o desenvolvimento de uma ferramenta baseada numa correlação entre perfil de pisos quente e frio medidos com perfilômetros.

3 Descrição Técnica

O principal objetivo desta dissertação é a otimização do processo de abertura de feiras para a extrusão de pisos de pneus. Como consequência, foi definida uma metodologia estruturada, começando-se pela identificação das variáveis que poderiam estar a induzir alterações geométricas no piso. Após identificação das mesmas, as variáveis dominantes foram escolhidas, e realizaram-se testes de forma a verificar a sua influência no comportamento do piso na linha de extrusão. Por fim, pretende-se determinar uma correlação entre as características do piso extrudido em termos de largura e espessura, e uma ou mais das variáveis analisadas, com posterior validação da ferramenta desenvolvida.

3.1 Identificação das variáveis

De forma a identificar as variáveis que poderiam estar a influenciar a contração do piso desde que é extrudido até ao final da linha de extrusão, foi realizado um *brainstorming* com membros da equipa de extrusão de diferentes fábricas do grupo Continental. Isto porque, ainda que se tenha uma forte convicção de que a variação dimensional se deva à etapa do arrefecimento do piso, poderão existir outras causas que tornam esta contração mais ou menos patente.

Na figura 23 encontra-se representado o resultado da discussão de ideias, sob a forma de um diagrama causa-efeito organizado em fatores principais que podem estar a contribuir para as alterações geométricas no piso ao longo da linha de extrusão.

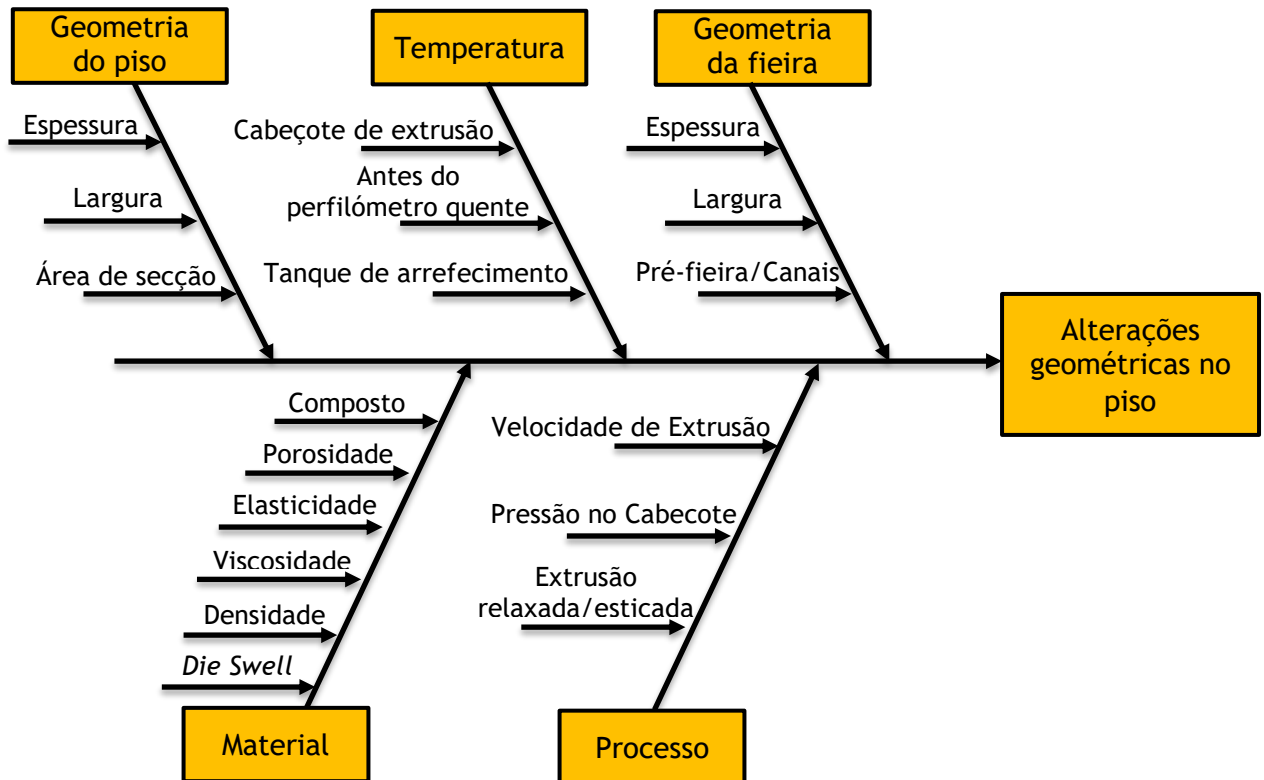


Figura 23-Diagrama Causa-Efeito.

3.2 Seleção das variáveis

Com base na sensibilidade e *know-how* dos intervenientes da parte da Continental que contam com anos de experiência na indústria do pneu, nos conhecimentos obtidos pela autora devido à análise e tratamento de dados retirados do processo de extrusão, e tendo em conta a limitação temporal para a realização deste estudo, foi decidido *a priori* que 4 variáveis, à primeira vista dominantes, seriam analisadas, sendo descritas de seguida.

3.2.1 Composto

Cada composto de borracha possui um conjunto de matérias-primas em determinadas proporções, sendo de esperar que o seu comportamento na linha de extrusão proporcione uma diferente contração do piso.

Os compostos em análise nesta dissertação serão os que estão destinados à produção de pisos na linha de extrusão em estudo e encontram-se apresentados pela respetiva designação na figura 24. É de notar que apesar dos pisos serem constituídos na maioria dos casos por 3 compostos de borracha - “capa”, “base” e “asa” -, a análise centra-se apenas no composto “capa”, visto que tanto o composto “base” como o “asa” são sempre os mesmos associados a esse composto “capa”.

Estudos realizados anteriormente na empresa e que visaram a caracterização reológica dos compostos de borracha mostram que estes podem ser agrupados por categorias em função da viscosidade e do tempo de relaxação característicos, tal como representado na figura 24. É de notar que λ corresponde ao tempo que o material precisa para adquirir uma nova forma - como acontece quando passa na fieira -, e que quanto maior o seu valor, maior será a resposta elástica do composto e o inchamento à saída da fieira.

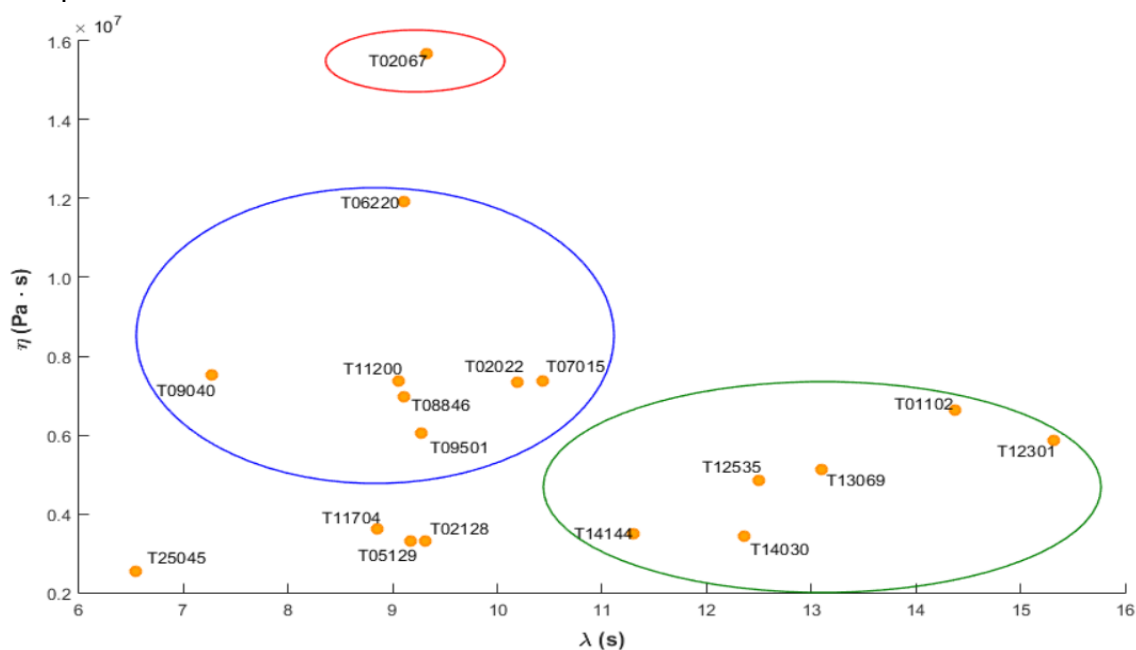


Figura 24-Viscosidade e tempo de relaxação característicos de cada composto.

O composto rodeado a vermelho é utilizado no fabrico de pneus *UHP - Ultra High Performance* - e apresenta elevada viscosidade, baixo grau de inchamento e faz parte da classe dos *compostos duros*. Em contrapartida, os compostos rodeados a azul, denominados por *compostos elásticos*, têm um comportamento estável durante o processo de extrusão e não evidenciam um elevado grau de inchamento. Os compostos rodeados a verde apresentam baixa viscosidade e elevado tempo de relaxação característicos, e conseqüentemente um elevado inchamento sendo designados por *compostos muito elásticos*. Os compostos T33025 e o T14716 não se encontram representados no gráfico uma vez que ainda se encontram em estudo.

3.2.2 Temperatura do piso antes do perfilómetro quente

Segundo a Teoria Cinética Molecular da Matéria, todos os corpos são constituídos por átomos, que quando sujeitos a um aumento de temperatura, a sua energia cinética e o grau de agitação entre eles é maior, assim como o número de colisões, o que faz com que se verifique um aumento de volume do material - dilatação térmica. Em contrapartida, quando o material é sujeito a uma diminuição de temperatura, tal como se verifica nos tanques de arrefecimento, o grau de agitação dos átomos diminui e o material contrai devido à diminuição da distância entre estes, levando a um abaixamento do volume do piso - contração térmica. Posto isto, quanto maior for a temperatura do piso na “zona a quente”, maior será a sua contração nos tanques de arrefecimento. Pretende-se assim verificar se na gama de temperaturas de extrusão para um determinado composto se verificam diferenças significativas da geometria do piso.

3.2.3 Espessura do piso

Sabendo que quando o piso é extrudido tem uma temperatura homogénea, seria de esperar que a região do ombro - maior espessura - estivesse mais dilatada, visto que como se trata de uma zona onde há mais massa, a expansão global nessa zona deveria ser superior, e como tal, no sistema de arrefecimento, a sua contração deveria ser mais evidente, tal como é descrito pela Lei da Dilatação Linear, expressa pela equação 3.1.

$$\Delta E = \alpha E (\Delta T) \Leftrightarrow \frac{\Delta E}{E} = \alpha (\Delta T) \quad (3.1)$$

Em que $\frac{\Delta E}{E}$ corresponde ao quociente entre a variação de espessura e a espessura verificada em cada ponto entre perfis quente e frio medidos e será denominada por Variação Relativa de Espessura - V.R.E.; α é o coeficiente de dilatação térmica para um dado composto; ΔT corresponde à variação de temperatura medida antes do perfilómetro quente e a temperatura do banho de arrefecimento.

Assim, será expectável que para um determinado composto sujeito à mesma variação de temperatura, a V.R.E. no ombro seja igual à V.R.E. verificada no centro, havendo um α característico para o composto.

Com a análise desta variável pretende-se estudar se as zonas de maior espessura dos pisos, “ombro”, contraem mais do que as zonas de menor espessura, “centro”.

3.2.4 Tipo de extrusão: relaxada vs esticada

Numa extrusão relaxada o comportamento natural do composto é respeitado, isto é, dado que à saída da fieira ocorre o inchamento do material, e como as passadeiras *shrinkage conveyor* têm um gradiente de velocidade decrescente de forma a relaxar o mais possível o material, minimizando as tensões internas no piso, este contrai livremente no sistema de arrefecimento sem que alguma tensão lhe esteja a ser imposta. Dizer que a extrusão é esticada, significa que as passadeiras *shrinkage conveyor* após saída da fieira têm uma velocidade tal que impõem uma dada deformação no piso, o que faz com que o comportamento natural do material não seja obedecido e que o grau de tensões internas no piso seja elevado. Pretende-se assim perceber se o tipo de extrusão altera o comportamento do piso na linha de extrusão.

O estudo destas variáveis foi realizado através de testes na linha de extrusão e laboratoriais que irão ser descritos de seguida.

3.3 Testes de extrusão: Perfilometrias

De forma a estudar as variáveis que poderão estar a induzir alterações geométricas no piso ao longo da linha de extrusão, realizaram-se testes de extrusão com medição do perfil do piso através do perfilómetro na “zona a quente” e na “zona a frio”. Todos os testes foram realizados em medidas de produção - codificação única e interna à empresa que é atribuída a cada tipo de piso produzido tendo por base os compostos utilizados, fieira, perfil nominal, código de cores - que estavam a ser executadas na linha de extrusão em estudo, e como tal tanto o composto como a fieira eram diferentes consoante a mesma.

Dado que o piso após passagem na fieira é uma tira longa e uniforme, é necessário garantir que ao realizar a amostra, o perfil do piso é medido exatamente naquela secção, usando-se para tal um marcador, exemplificado na figura 25.

Uma vez que na linha de extrusão são produzidos diversos pisos com compostos de borracha e geometrias diferentes, os estudos da influência do **composto** e da **espessura do piso** são facilmente conseguidos através destes testes de extrusão, sem qualquer tipo de teste auxiliar.

A medição da **temperatura** antes do perfilómetro quente foi conseguida através do uso de um pirómetro. Para garantir que estavam a ser mantidas as mesmas condições para cada teste utilizou-se este instrumento a uma distância de 15 cm do piso e a medição da temperatura foi sempre realizada no ombro de cada piso extrudido, como se ilustra na figura 26.

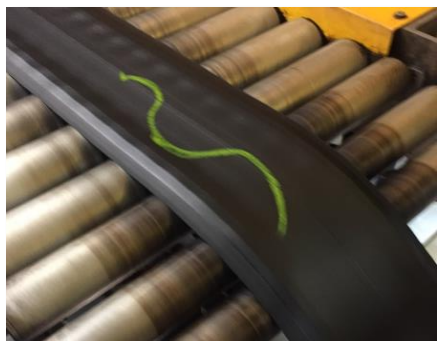


Figura 25-Piso marcado para amostra.

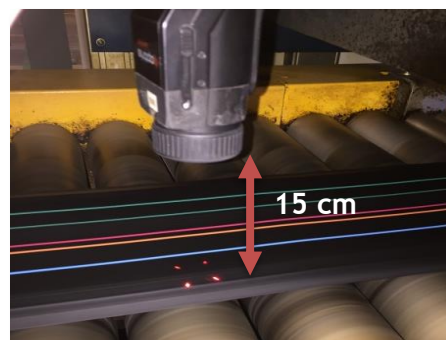
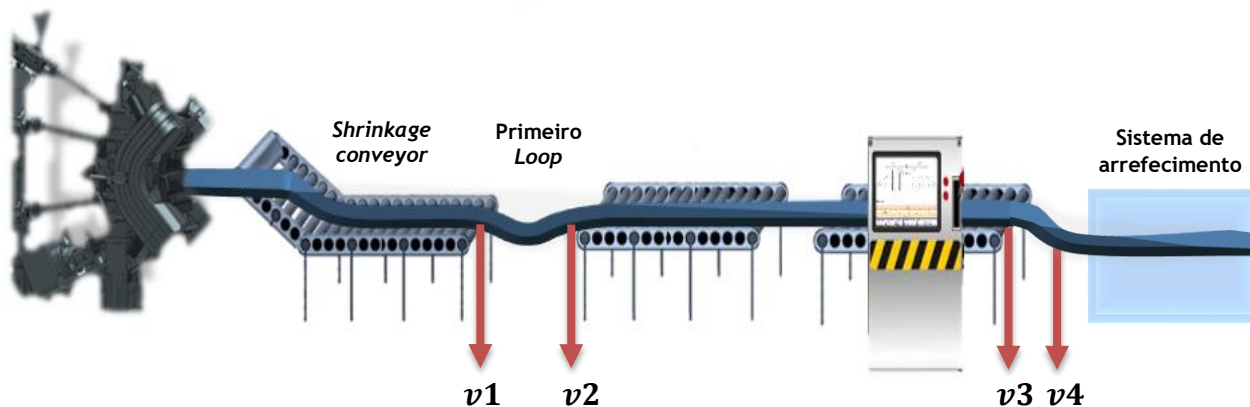


Figura 26-Medição de temperatura.

A outra variável a ser estudada é o **tipo de extrusão**: relaxada vs esticada. Para tal, no momento de realização das perfilometrias são verificadas quais as velocidades de v_1 a v_4 através do computador que monitoriza a linha de extrusão, sendo calculada a diferença entre estas. Se esta diferença for igual a 0, a extrusão é relaxada o que significa que em v_1 grande parte das tensões internas do piso já estavam eliminadas, e portanto a velocidade de linha já estava no seu valor ótimo sem que esteja a impor qualquer tipo de tensão no piso. Por outro lado, caso tal não se verifique, a extrusão é esticada, o que indica que em v_1 o piso ainda está tensionado/esticado e o sensor do primeiro *loop* vai emitir um sinal para “obrigar” as passadeiras a alterarem a sua velocidade. Na figura 27 estão representadas as localizações destas velocidades na linha de extrusão.

Figura 27-Localização de v_1 a v_4 na linha de extrusão.

Como auxílio de estudo desta variável é utilizado um instrumento constituído por uma roda que marca um comprimento de 215 mm no piso antes do perfilómetro quente, visível na figura 28. No final da linha de extrusão este comprimento é medido, e caso o comprimento final seja igual ao marcado inicialmente, então significa que no momento da marcação o piso já tinha “perdido” grande parte das tensões internas e a extrusão é relaxada. Se o comprimento final for menor que o inicial, significa que o piso ainda estava esticado no momento de marcação - ainda possuía um grau elevado de tensões internas -, que foram perdidas ao longo da linha de extrusão e como tal, a extrusão é esticada.



Figura 28-Instrumento de marcação de comprimento do piso.

Com a realização destes testes pretende-se ainda estudar o comportamento do piso com um *composto muito elástico e duro*, utilizando-se a mesma fieira e mantendo as mesmas condições de extrusão - variação de velocidade, temperatura antes do perfilómetro quente constantes; e testar numa gama de temperaturas que seja passível de o composto ser extrudido sem provocar reticulação prematura, mantendo os restantes parâmetros iguais.

Como teste auxiliar, pretende-se verificar se, parando a linha de extrusão e deixando o piso arrefecer durante o período de tempo que leva desde que o piso é extrudido até atingir o final da linha, se obtém as mesmas alterações dimensionais em comparação com o normal desenrolar do processo; ou se, por outro lado, a linha impõe algum tipo de força que faça com que este comportamento não seja equivalente.

Para o armazenamento da informação aquando da realização de cada teste, foi desenvolvida uma folha de registo que consiste num documento onde é registado o número do teste, data de realização do mesmo, medida de produção, fieira, composto, temperatura de medição e o comprimento final medido. No anexo C é apresentada esta folha de registo de teste.

Posteriormente, estes dados são inseridos numa base de dados, criada em *Matlab*, para análise e tratamento dos mesmos.

3.4 Testes Laboratoriais

Os testes laboratoriais têm como objetivo replicar o comportamento do piso na linha de extrusão, isto é, saber se é possível replicar as alterações dimensionais que se encontram na linha de extrusão, num ambiente controlado, tal como acontece na estufa de um laboratório. Para tal, pisos com compostos e geometria diferentes são sujeitos a uma temperatura igual à verificada na linha de extrusão aquando da aquisição dessa amostra, sendo depois comparados com os testes de extrusão obtidos para uma variação de velocidade igual a 0 m/min; dado que, à partida, com uma extrusão relaxada - isto é, com variação nula de velocidade - o piso extrudido não é sujeito a qualquer tipo de força externa, tal como acontece no ambiente controlado na estufa.

Assim, e de acordo com os compostos analisados na linha de extrusão, foram selecionados compostos com uma natureza distinta - *compostos duros, elásticos, muito elásticos*-, e procedeu-se ao estudo do seu comportamento. Cada amostra fica sujeita a uma dada temperatura durante 10 min, isto porque, apesar de não se saber com precisão o tempo que leva desde que os compostos de borracha são alimentados na tremonha até ao momento de medição do perfil quente no perfilómetro na “zona a quente”, estima-se que este seja à volta deste período de tempo.

O procedimento para elaboração destes testes laboratoriais é simples, e encontra-se representado na figura 29. Em suma, começa-se pelo aquecimento de uma amostra de piso que, antes de entrar na estufa é revestida com pó de talco de forma a reduzir a fricção existente entre o piso e a placa metálica de transporte, sendo por fim inserida na estufa.



Figura 29-Amostra de piso (lado esquerdo) revestida com pó de talco (centro) na estufa (lado direito).

Imediatamente após o aquecimento da amostra, é medido o perfil do piso no perfilómetro *offline*. Após esta etapa, o piso é colocado num tanque com água que se encontra a uma temperatura constante de 18 °C - igual à verificada na linha de extrusão - durante 60 min e é novamente medido o perfil do piso.

3.5 Sumário

Este capítulo descreve todos os testes envolvidos para o desenvolvimento da correlação entre perfis de pisos medidos a quente e a frio. Através da realização dos testes de extrusão, pretende-se saber quais as alterações dimensionais do piso impostas por uma determinada variável, esperando-se que esta contração seja mais ou menos afetada por certas variáveis dominantes.

Com os testes laboratoriais tem-se como objetivo uma melhor compreensão da contração do material, tentando-se replicar o que acontece na linha de produção, num ambiente controlado, através do uso de diferentes amostras de pisos extrudidos com compostos e geometria do perfil distintos, a uma temperatura equivalente à temperatura de extrusão para esse dado composto. No capítulo seguinte são apresentados todos os resultados obtidos de acordo com cada teste descrito.

4 Resultados e Discussão

Neste capítulo, serão apresentados e analisados todos os resultados experimentais obtidos através dos testes descritos na secção anterior. Espera-se que todas as variáveis e metodologias escolhidas para o estudo desta dissertação sejam compreendidas a fim de facilitar a interpretação dos testes realizados. Para tal, foram efetuados 200 testes de extrusão e comparados os respetivos perfis quente e frio, em termos de largura e espessura, de forma a se determinar qual a influência das variáveis seleccionadas nas alterações dimensionais no piso ao longo da linha de extrusão.

4.1 Influência das variáveis

A análise das variáveis irá ser realizada seguindo a mesma ordem pela qual foram apresentadas no capítulo anterior. Após recolha dos testes, procedeu-se à análise e tratamento de dados, tendo em conta os perfis quente e frio obtidos. Na figura 30 é apresentado um exemplo de um teste de extrusão realizado; a linha a vermelho simboliza o perfil quente e a linha azul representa o perfil frio, estilo que se manterá constante ao longo deste capítulo.

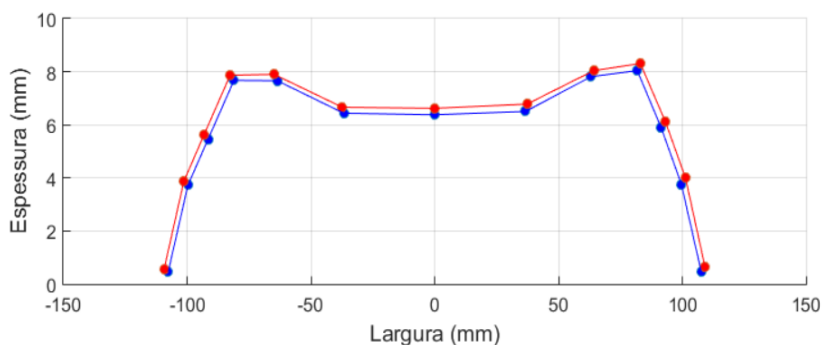


Figura 30-Exemplo teste extrusão: perfilometria.

De seguida, é feita a comparação entre os perfis quente e frio, e calculada a diferença entre cada ponto destes perfis em termos de largura e espessura. Na tabela 1 é apresentado um exemplo desta análise tendo em conta apenas os pontos do eixo x positivos, embora a análise seja feita ao longo de todo o piso.

Tabela 1-Análise do lado direito do perfil.

Perfil na “zona a quente”		Perfil na “zona a frio”		Δ Largura (mm)	Δ Espessura (mm)
Largura (mm)	Espessura (mm)	Largura (mm)	Espessura (mm)		
109,240	0,631	107,605	0,488	1,635	0,143
101,310	4,002	99,640	3,762	1,670	0,240
93,221	6,110	91,519	5,883	1,702	0,227
83,081	8,311	81,836	8,042	1,245	0,269
64,212	8,039	63,095	7,812	1,117	0,227
37,259	6,781	36,751	6,504	0,508	0,277
0	6,620	0	6,379	0	0,241

Todos os testes de extrusão recolhidos foram analisados seguindo este procedimento e agrupados em função da variável em estudo. Relativamente aos testes laboratoriais, irão ser apresentados de acordo com a variável em estudo.

4.1.1 Composto

Todas as perfilometrias foram realizadas em medidas de produção que estavam a ser executadas na linha de extrusão, pelo que foi conseguida uma grande variabilidade de perfis quente e frio de diferentes compostos, variações de velocidade, geometrias e temperaturas distintas. Após cálculo das diferenças dimensionais entre todos os perfis recolhidos, foi representada graficamente a variação de espessura obtida em função da largura do respetivo perfil frio, visível no anexo D.

A análise da figura do anexo D permite concluir que não existe um determinado padrão ou tendência fixa para cada composto, no que compete à variação de espessura em função da largura a frio do piso; tomando o composto T12301 a título de exemplo, as diferentes amostras recolhidas resultaram em variações de espessura situadas na gama dos 0,01 mm até aos 0,3 mm. Este comportamento não concentrado em torno de um valor específico é verificado para todos os compostos analisados.

Ainda que exista uma grande versatilidade/variabilidade de variações de espessuras para cada composto, pode-se afirmar que não se verificaram variações superiores a 0,4 mm, sendo que a maior concentração de pontos se encontra situada no intervalo dos 0,1 a 0,3 mm. Desta forma, estes testes permitem concluir, com um certo grau de certeza, que o tipo de composto não se apresenta como uma variável que influencie o desvio/variação de espessuras entre os perfis quente e frio.

Em relação à variação de largura total média para cada composto obtida entre perfil quente e frio, e assegurando o mesmo tipo de extrusão, relaxada - com uma variação de velocidade igual a 0 m/min -, podemos averiguar através da tabela 2 que a variação de largura tem um valor médio de 3,106 mm e um desvio padrão de 0,0974 mm para os diferentes compostos. Ainda que só tenham sido apresentados os resultados inerentes a uma variação de velocidade de 0 m/min, no anexo E estão disponíveis os respetivos para as restantes variações de velocidade. Dado que estas medidas foram feitas num processo, o mesmo composto pode apresentar ligeiras flutuações no que diz respeito às variações dimensionais. Embora se tente manter constantes as condições de extrusão, há sempre fatores inerentes ao processo que não são passíveis de serem controlados, tais como, temperatura ambiente e grau de mistura dos compostos aquando da fase "Misturação". Além disso, ainda que a viscosidade do composto seja monitorizada, há outras características do mesmo que não são controladas e que poderão ter influência durante a extrusão. Apesar de parâmetros como pressões, temperatura do equipamento, velocidades do parafuso e peso estarem especificadas para cada medida de produção, há sempre uma tolerância associada a cada uma destas variáveis, e oscilações nestes parâmetros causam

ligeiras alterações no piso extrudido. Graças a estes fatores, a recriação de testes nas mesmas condições de extrusão resulta em não se obter sempre o mesmo valor específico de largura total de um piso.

Tabela 2-Influência do composto na variação de largura total.

Composto	$\bar{\Delta}$ Largura total (mm)
T07015	3,012
T02128	3,172
T14716	3,170
T05129	2,962
T08846	3,270
T14030	3,016
T11704	3,206
T06220	3,066
T09501	3,076

De forma a compreender se realmente se obtém as mesmas alterações geométricas do piso independentemente do composto utilizado na linha de extrusão, foram selecionados para este teste de extrusão um *composto muito elástico*, T01102, e um *duro*, T11131, mantendo-se as mesmas condições de extrusão - mesma fieira de forma a ser mantida igual geometria do piso, temperatura de cada extrusora, uma extrusão relaxada, e analisado o seu comportamento.³ Na figura 31 são apresentados os perfis obtidos.

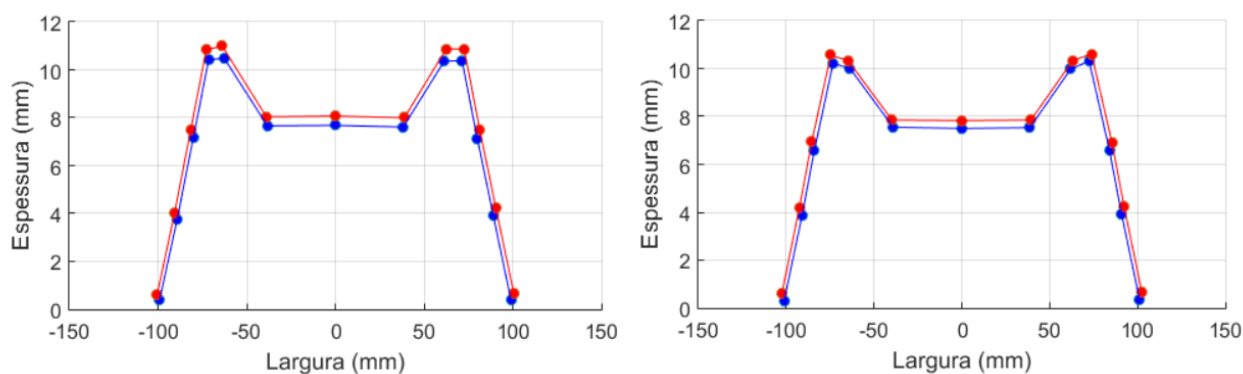


Figura 31-Perfis obtidos na linha de extrusão para composto duro (lado esquerdo) e muito elástico (lado direito).

Analisando estes perfis, verifica-se que o composto *duro* apresentou uma variação de largura total de 3,074 mm e o *muito elástico* cerca de 2,728 mm. Em relação à variação de espessuras, o composto *duro* apresenta um valor médio de 0,217 mm e o *muito elástico* de 0,150 mm.

³ O composto duro utilizado para realização deste teste de extrusão não foi especificado como um composto da linha de produção em estudo, devido à falta do composto T02067.

Apesar de existirem diferentes variações dimensionais do composto *duro* e *muito elástico*, na ordem dos 0,346 mm e 0,07 mm no que compete à largura e espessura, estas não são consideradas significativas uma vez que as variações estão dentro da tolerância admitida de ± 3 mm em termos de largura e $\pm 0,5$ mm para a espessura; tendo em conta que foram analisados compostos com uma natureza muito distinta, prevê-se que os restantes compostos tenham um comportamento consistente dentro desta gama de valores.

As variações dimensionais obtidas vão de encontro ao que se verificou anteriormente nos testes efetuados em medidas de produção. Assim, com estes testes podemos concluir que a variável composto não tem impacto nas alterações dimensionais que o piso sofre entre “zona a quente” e “zona a frio”.

Para os testes laboratoriais foram escolhidos compostos de naturezas distintas, pretendendo-se avaliar a influência do tipo de composto na contração de um piso, após este ter sido aquecido na estufa. Os resultados foram comparados com as amostras equivalentes retiradas da linha de extrusão tendo em conta uma extrusão relaxada e encontram-se sumariados na tabela 3. Para cada composto, foram conduzidos 4 testes, sendo calculada a variação média de largura e espessura.

Os desvios percentuais relativos à largura total são calculados através da equação 4.1, e os verificados em termos de espessura através da equação 4.2.

$$\text{Desvio Percentual de Largura Total} = \frac{\bar{\Delta} \text{Largura Total da Linha de Extrusão} - \bar{\Delta} \text{Largura Total da Estufa}}{\bar{\Delta} \text{Largura Total da Linha de Extrusão}} \quad (4.1)$$

$$\text{Desvio Percentual de Espessura} = \frac{\bar{\Delta} \text{Espessura da Linha de Extrusão} - \bar{\Delta} \text{Espessura da Estufa}}{\bar{\Delta} \text{Espessura da Linha de Extrusão}} \quad (4.2)$$

Tabela 3-Variações dimensionais obtidas em escala laboratorial e na linha de extrusão.

Composto		$\bar{\Delta}$ Largura Total (mm)			$\bar{\Delta}$ Espessura (mm)		
		Escala Laboratorial	Linha de Extrusão	Desvio (%)	Escala Laboratorial	Linha de Extrusão	Desvio (%)
<i>Duro</i>	T02067	3,200	3,242	1,295	0,155	0,203	23,65
<i>Elástico</i>	T08846	2,800	3,100	9,677	0,180	0,230	21,77
	T11200	2,740	3,004	8,788	0,184	0,246	25,34
<i>Muito</i>	T12301	2,900	3,124	7,170	0,149	0,187	20,32
<i>Elástico</i>	T01102	2,900	3,016	3,846	0,143	0,171	16,37

Com estes testes laboratoriais, averiguou-se que, independentemente do tipo de composto, a contração em termos de largura e espessura é idêntica, tendo-se obtido desvios médios de 6,155 % e 21,49 % entre os ensaios em ambiente controlado e em piso de fábrica, em relação à largura e espessura, respetivamente. Assim, estes testes na estufa corroboram o verificado na

linha de extrusão, permitindo este estudo a previsão do inchamento dos materiais numa extrusão relaxada, tornando o processo de abertura de uma fieira mais fácil.

4.1.2 Temperatura antes do perfilómetro quente

Após recolha de todos os testes de extrusão, foram analisadas quais as temperaturas a que cada composto foi sujeito na linha de extrusão.

Mantendo constantes as condições de extrusão, foram escolhidos compostos que após serem extrudidos e antes do perfilómetro quente apresentassem temperaturas diversas e distintas; ainda que para o mesmo composto se tivessem verificado diferentes temperaturas, estas nunca diferiam mais de 10 °C entre elas, sendo que apenas são consideradas amostras em que existe coerência quanto às restantes condições de extrusão. No anexo F estão apresentadas as distribuições de espessuras de todo o perfil em função da largura a frio.

A análise dos gráficos apresentados no anexo F - exemplos de algumas amostras obtidas - permite verificar a não existência de uma tendência fixa que relacione as variações de espessura num piso com base na temperatura da linha de extrusão, pelo que esta influência não é determinante.

As variações de largura correspondentes às temperaturas analisadas no anexo F para cada composto serão apresentadas na tabela 4.

Tabela 4-Variações de largura obtida para cada temperatura.

Composto	Temperatura (°C)	Δ Largura Total (mm)	Composto	Temperatura (°C)	Δ Largura Total (mm)
T14716	104,2	2,924	T02128	110,8	3,098
	105,4	2,718		114,0	2,604
	107,4	2,232	T12535	100,9	0,806
	110,7	2,230		110,5	0,957
	111,4	2,778		111,4	0,913
	112,1	2,450	T33025	102,4	1,760
	113,1	3,060		107,4	1,742
93,3	1,942	108,4		1,654	
T25045	100,7	1,930			

Pela análise da tabela 4, é possível visualizar que, para cada composto, a variação de largura permanece aproximadamente independente do valor da temperatura, verificando-se um desvio padrão inferior a 0,063 mm para os compostos T12535, T33025, T25045. Quanto aos compostos T14716 e T02128, o desvio padrão é superior, e igual a 0,305 mm e 0,247 mm, respetivamente. Tal pode estar relacionado com fatores inerentes que ocorrem na linha de extrusão que não se conseguem controlar. Assim, através destes testes em medidas de produção, verificou-se que

para temperaturas superiores, as variações dimensionais exibidas não são mais elevadas, como seria expectável.

Para auxiliar a compreensão desta variável em estudo foi realizado um teste na linha de extrusão, com o composto *duro*, T11131, e o *muito elástico*, T01102, em ambos os extremos de temperaturas possíveis de ocorrer no processo. Mantendo a mesma fieira, e uma variação de velocidade constante e igual a 0 m/min foi visualizado o seu comportamento a diferentes temperaturas. A variação de espessuras entre os perfis obtidos encontra-se apresentada nas figuras 32 e 33.

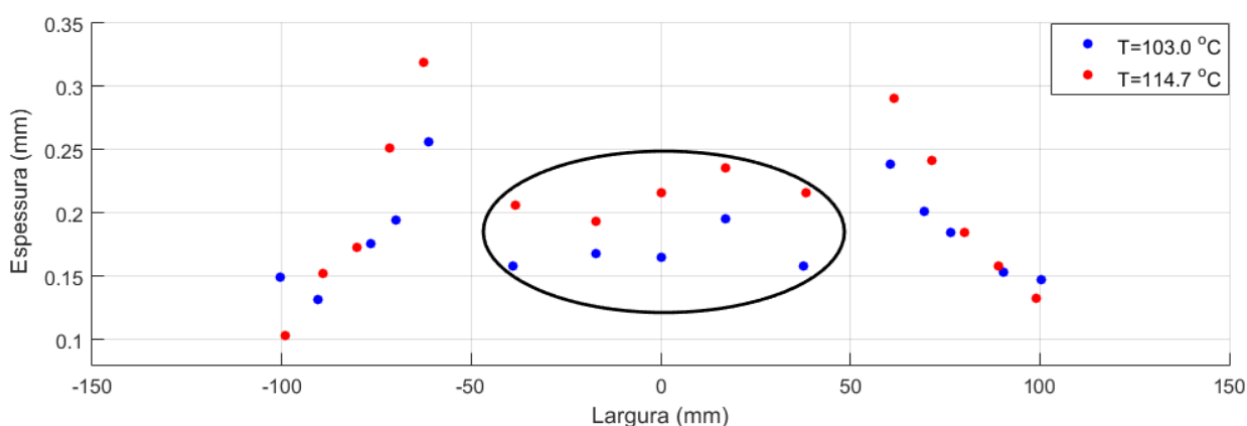


Figura 32-Influência da temperatura no composto duro.

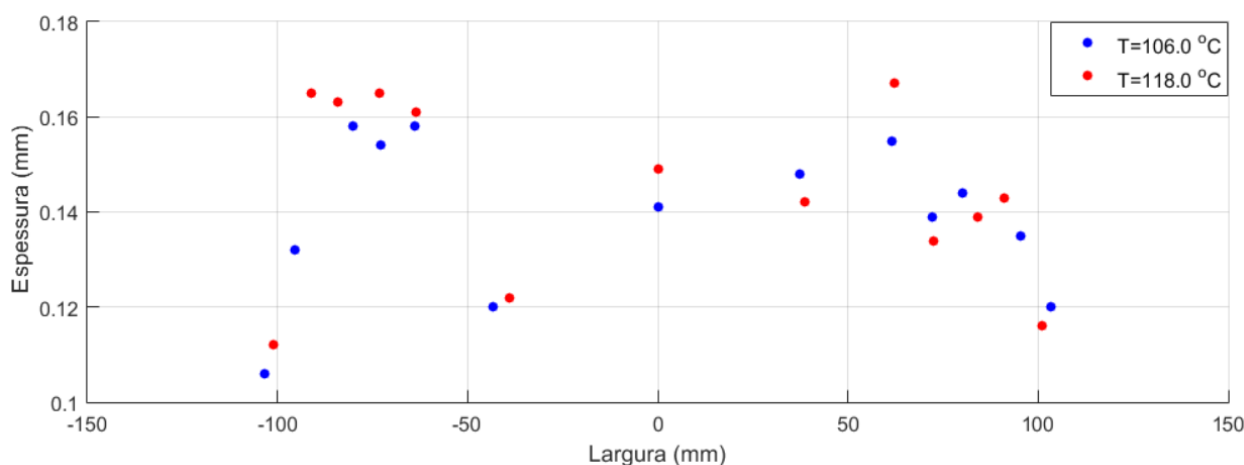


Figura 33-Influência da temperatura no composto muito elástico.

Ainda que na região do “ombro” tal não se verifique, uma análise da figura 32 mostra que na região do “centro” do piso, representada por uma elipse a preto, há uma tendência evidente de que o composto à temperatura mais elevada contraia mais do que o composto a uma temperatura mais baixa. No entanto, a diferença da variação de espessuras existente entre estas temperaturas, calculada ponto a ponto, não é constante apresentando um valor máximo de 0,058 mm, o que faz com que a influência da temperatura não seja mais uma vez determinante.

O composto *duro*, para temperaturas de 114,7 °C e de 103 °C, apresentou variações de largura de 3,074 mm e de 2,772 mm. Por outro lado, o composto *muito elástico* apresentou variações de 2,728 mm e de 2,480 mm para temperaturas de 118 °C e de 106 °C, respetivamente; estes desvios são da ordem dos 0,3 mm, divididos de igual forma para cada metade do piso, não sendo considerada a sua ordem de grandeza como relevante para este tipo de processo.

4.1.3 Espessura do piso

Sendo expectável que nas zonas de maior espessura haja maior contração do que nas zonas de menor espessura, foram analisados todos os testes de extrusão recolhidos para averiguar se este efeito era visível e se era possível determinar o coeficiente de expansão linear para um dado composto seguindo uma Lei de Dilatação Linear. Para este estudo, procurou-se verificar se na zona do “ombro”, considerando apenas os pontos com maior espessura - rodeados a verde na figura 34 - apresentavam uma V.R.E, calculada através da equação 4.1, igual à da região central - rodeados a cinzento - procedendo-se à sua comparação para cada ponto mencionado.

$$V.R.E = \frac{\Delta \text{Espessura}}{\text{Espessura do perfil frio}} \quad (4.1)$$

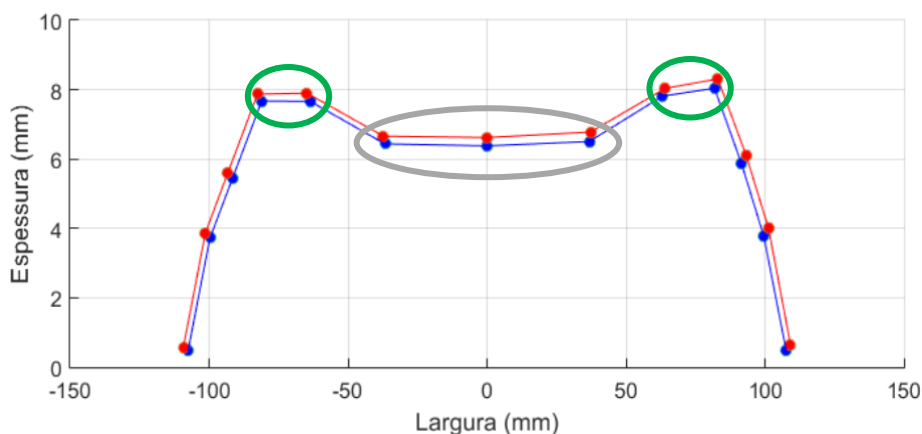


Figura 34-Regiões em análise para estudo da variável “Espessura”.

A experiência mostrou que, contrariamente ao que seria de esperar, se verifica uma quase constância do valor da variação absoluta da espessura ΔE , e não da variação relativa $\frac{\Delta E}{E}$, que é superior no “centro”; uma explicação provável para esta constatação reside no facto de as zonas “ombro” e “centro” estarem ligadas e, durante o arrefecimento e conseqüente relaxação do material, ocorrer transferência de material do “ombro” para o “centro”, o que leva a concluir que a Lei de Dilatação Linear não pode ser aplicada.

Para além de se ter verificado esta diferença de V.R.E. nas duas regiões, constatou-se que estes alteravam consoante a variação de velocidade, pelo que na tabela 5 são apresentados estes resultados.

Tabela 5-Resultados das V.R.E. obtidos.

Δv (m/min)	V. R. E. Ombro	V. R. E. Centro
0	0,0310	0,0342
0,1	0,0283	0,0321
0,2	0,0285	0,0302
0,3	0,0262	0,0299
0,4	0,0246	0,0282
0,5	0,0218	0,0282
0,6	0,0216	0,0291
0,8	0,0198	0,0263
0,9	0,0198	0,0236
1	0,0204	0,0237
1,1	0,0198	0,0227
1,2	0,0205	0,0246
1,3	0,0185	0,0239

De forma a verificar se existe alguma relação entre estes valores de V.R.E. tanto no ombro como no centro do piso em função da variação de velocidade, foi traçado um gráfico de dispersão com linha de tendência, representado na figura 35. Pela dispersão traçada, verificou-se a existência de uma certa linearidade entre a variação relativa de espessuras com a variação de velocidade, o que permite concluir que a variável “Espessura do Piso” é controlada, sendo assim o “Tipo de Extrusão: Relaxada vs Esticada” a variável dominante para este estudo. Na secção seguinte torna-se a explorar a dominância do tipo de extrusão para a caracterização do processo, tentando-se para tal provar a conclusão apresentada nesta secção.

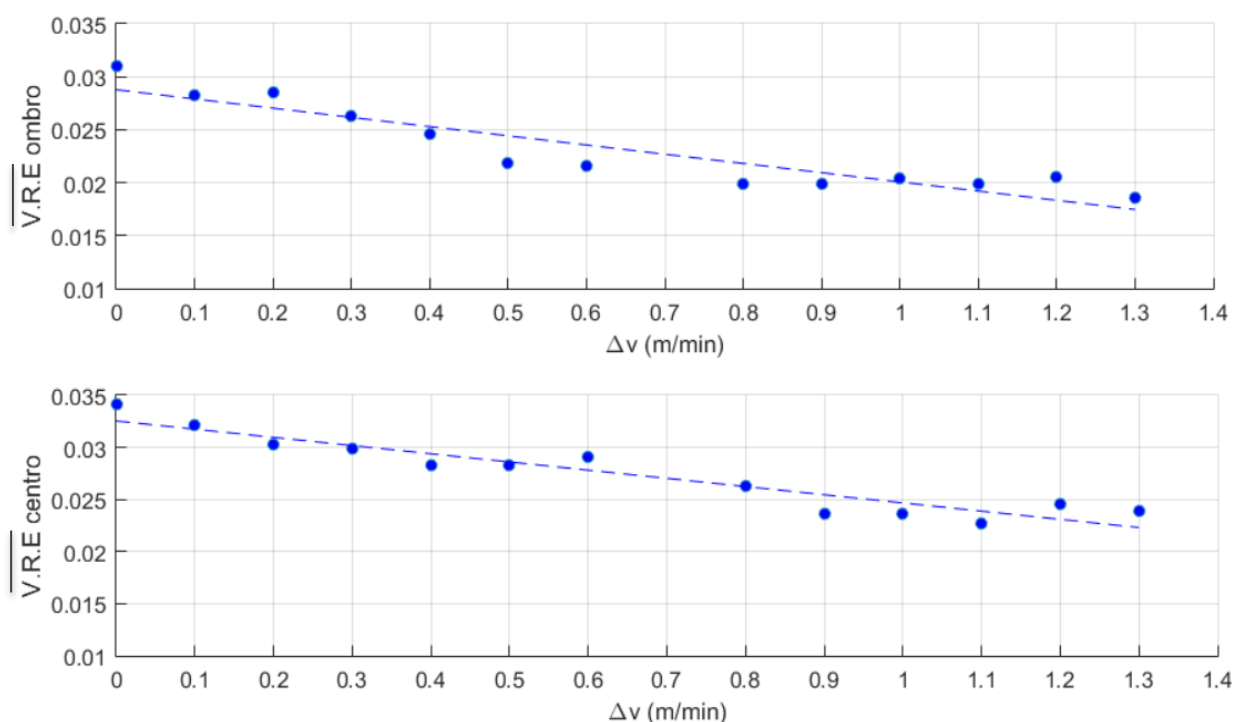


Figura 35-V.R.E. “ombro” (em cima) e no “centro” (em baixo) obtidas.

4.1.4 Tipo de Extrusão: relaxada vs esticada

Numa extrusão relaxada, o comportamento natural do composto à saída da fieira é respeitado e, posteriormente, ocorre a sua contração nos tanques de arrefecimento. Caso a extrusão seja esticada, o piso é sujeito a um esticamento devido à elevada velocidade do *shrinkage conveyor*, fazendo com que os restantes balanceiros ao longo da linha emitam um sinal para que as passadeiras de transporte reduzam a sua velocidade, possibilitando a relaxação do material. Em simultâneo, ocorre o arrefecimento do material, que provoca a contração do material. Como referido e exemplificado no anexo A, é expectável que neste tipo de extrusão o perfil quente tenha a mesma geometria que o perfil frio, pelo que iremos estudar qual o impacto deste fenómeno.

Assim, após todos os testes de extrusão terem sido recolhidos, procedeu-se à sua divisão por cada variação de velocidade e calcularam-se as variações dimensionais obtidas em termos de largura total e espessura. A tabela 6 apresenta estes valores médios para cada variação de velocidade.

Tabela 6-Valores médios da variação de largura e espessura obtidos em função de Δv .

Δv (m/min)	$\bar{\Delta}$ Largura total (mm)	$\bar{\Delta}$ Espessura (mm)
0	3,109	0,233
0,1	3,027	0,212
0,2	2,982	0,197
0,3	2,706	0,196
0,4	2,587	0,188
0,5	2,543	0,176
0,6	2,470	0,192
0,8	2,237	0,168
0,9	2,144	0,151
1	2,031	0,163
1,1	1,930	0,144
1,2	1,736	0,158
1,3	1,570	0,157

Os resultados experimentais mostram que quanto mais elevada for a variação de velocidade, menor será a diferença de larguras entre perfil quente e perfil frio, verificando-se o mesmo para os valores de espessura. Posto isto, a solução para o problema em estudo nesta dissertação passa por tentar ajustar uma curva a este conjunto de dados.

Na tabela 7 estão apresentados os valores do coeficiente de determinação - que consiste numa medida que indica a qualidade do ajuste efetuado, R^2 - obtidos tanto para a variação de largura total como de espessuras em função da variação de velocidade. Quanto mais próximo o R^2 estiver de 1, mais perfeito será o ajuste.

Tabela 7-Valores de R^2 obtidos para diferentes ajustes.

	Função Polinomial					
	Grau 1/ Linear	Grau 2	Grau 3	Grau 4	Grau 5	Grau 6
$\bar{\Delta}$ Largura total	0,9882	0,9887	0,9925	0,9937	0,9948	0,9957
$\bar{\Delta}$ Espessuras	0,8579	0,9081	0,9081	0,9383	0,9408	0,9455

Tal como se esperava, tanto para o ajuste de variação de largura total como de espessuras, verifica-se que a regressão que apresenta o valor mais elevado do coeficiente de determinação é a de uma função polinomial de grau 6. Apesar de o coeficiente de determinação observado para a variação de espessuras ser inferior ao verificado na variação de largura, trata-se de uma boa aproximação uma vez que estes dados são relativos a um processo industrial onde existem fatores associados ao mesmo que não conseguem ser controlados e ainda possíveis erros de medição de perfis. Desta forma, pode-se considerar como suficiente um ajuste linear para os dados em estudo; de facto, considerando-se o pior caso, para a variação de espessuras, um erro à volta de 15 % - como o imposto por uma regressão polinomial de grau 1 - traduz-se numa variação de espessura de valor inferior ao da tolerância admitida no processo, comprovando assim a suficiência de uma regressão linear para relacionar a variação de espessura com a variação de velocidade, estando estas apresentadas no anexo G.1.

Verificada uma influência do tipo de extrusão nas variações dimensionais do piso, procedeu-se a um estudo mais aprofundado dos testes de extrusão para se saber se todas as regiões do piso possuíam a mesma variação de largura. Isto é, se tendo em conta uma extrusão com uma dada variação de velocidade, se verifica o mesmo deslocamento de largura para cada par de pontos quente/frio.

Feita esta análise, e tendo em conta a mesma variação de velocidade, as variações de largura para cada par de pontos revelou-se diferente do que a hipótese introduzida anteriormente, tendo-se obtido 3 relações distintas; do “ombro para fora” representado pela elipse verde, no “ponto interior do ombro” mostrado pelo círculo amarelo e no “centro” representado pela elipse cinzenta, tal como evidenciado na figura 36.

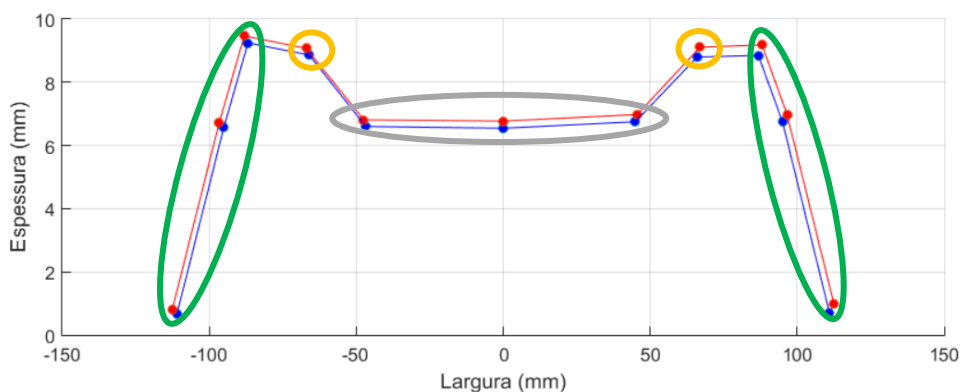


Figura 36-Regiões de aplicação de um fator de correlação em termos de largura.

Os respetivos valores para estas regiões encontram-se apresentados na tabela 8 ⁴. Através da sua análise pode-se concluir que se tem de aplicar 3 fatores de correlação em termos de variação de largura para deduzir o perfil quente de um determinado perfil de piso.

Tabela 8-Resultados experimentais para as diferentes regiões de um piso.

Δv (m/min)	$\bar{\Delta}$ Largura Total	$\bar{\Delta}$ Largura Ombro para fora	$\bar{\Delta}$ Largura ponto interior do ombro	$\bar{\Delta}$ Largura Centro
0	3,109	1,512	1,062	0,615
0,1	3,027	1,471	1,038	0,616
0,2	2,982	1,252	0,793	0,572
0,3	2,706	1,276	0,791	0,608
0,4	2,587	1,222	0,691	0,586
0,5	2,543	1,205	0,770	0,575
0,6	2,470	1,136	0,722	0,544
0,8	2,237	1,085	0,633	0,503
0,9	2,144	1,004	0,627	0,469
1	2,031	0,986	0,604	0,440
1,1	1,930	0,791	0,481	0,364
1,2	1,736	0,878	0,501	0,300
1,3	1,570	0,728	0,447	0,320

Em termos de espessura é aplicado apenas um único fator de correlação, apresentado na tabela 6, uma vez que não foi verificada nenhuma divergência deste valor para as diferentes regiões do piso. Verificou-se que tipo de ajuste poderia ser feito a cada conjunto de dados, encontrando-se apresentado no anexo G.2.

Em suma, pode-se ajustar todos os conjuntos de dados quer em termos de espessura e de largura a uma função linear, obtendo-se coeficientes de determinação bastante elevados para um processo industrial. Pode-se concluir que a correlação existente entre perfil quente e frio será feita em função da variável “Tipo de Extrusão: Relaxada vs Esticada”, traduzida através da variação de velocidade obtida através do computador que monitoriza a linha de extrusão.

Com o intuito de estudar se a linha de extrusão estaria a provocar algum tipo de força/esticamento no piso extrudido, mesmo quando a extrusão é relaxada, decidiu-se parar a linha de extrusão e deixar arrefecer o piso no sistema de arrefecimento, durante o mesmo intervalo de tempo que numa extrusão normal o piso demoraria desde o perfilómetro na “zona a quente” até chegar ao perfilómetro na “zona a frio” - cerca de 5 min -, e procedeu-se à sua comparação entre os perfis obtidos numa extrusão dita normal, com os verificados nesta paragem. Estes testes foram efetuados com compostos de natureza distinta, selecionando-se um *duro* - T11131 - e um *muito elástico* - T01102 -, para se ter uma maior variabilidade de resultados, encontrando-se expressos na tabela 9.

⁴ É de salientar que a ausência de dados para as variações de velocidade de 0,7 e superiores a 1,3 m/min se devem ao facto de, aquando da fase de recolha de dados da linha de extrusão, tais condições não se terem verificado na mesma.

Tabela 9-Resultados obtidos numa extrusão “normal” e com paragem na linha de extrusão.

Composto	$\bar{\Delta}$ Largura Total (mm)			$\bar{\Delta}$ Espessura (mm)		
	Linha de Extrusão	Paragem da Linha	$\overline{\text{Desvio}}$ (%)	Linha de Extrusão	Paragem da Linha	$\overline{\text{Desvio}}$ (%)
<i>Duro</i>	3,074	2,598	15,48	0,2172	0,1929	11,19
<i>Muito Elástico</i>	2,738	2,342	14,46	0,1445	0,1331	7,889

Verifica-se que numa extrusão “normal” o piso apresenta maiores variações dimensionais do que quando é feita uma paragem na linha de extrusão e se deixa arrefecer o piso em condições estáticas, sendo que o desvio médio de largura obtido é da ordem dos 15 %. Em termos de espessuras, verifica-se um desvio em relação à média de espessuras obtidas na linha de extrusão da ordem dos 10 %. Através destes resultados pode-se concluir que de facto numa extrusão em condições ditas “normais” e do tipo relaxada, o material poderá estar a ser sujeito a algum tipo de força externa durante o seu movimento desde que é extrudido até ao final da linha de produção, ação mecânica que poderá causar tensões adicionais no material, fazendo com que estas variações dimensionais sejam diferentes.

De forma a avaliar se pisos obtidos numa extrusão relaxada possuíam tensões residuais, procedeu-se a uma espécie de recozimento térmico na estufa. Tendo-se selecionado amostras de piso com compostos de natureza distinta, os mesmos foram sujeitos na estufa a uma temperatura de 110 °C durante 10 minutos. Posteriormente, foram arrefecidas num tanque a uma temperatura de 18 °C durante 1 h, sendo este procedimento repetido até que os perfis obtidos às duas temperaturas fossem iguais. Os resultados experimentais obtidos em laboratório encontram-se apresentados no anexo H. Conclui-se que após o 1º aquecimento da amostra na estufa e posterior arrefecimento no tanque, o perfil frio não volta ao seu estado inicial, o que significa que apesar de se tentar relaxar ao máximo o material na linha de extrusão, este ainda possui tensões não aliviadas que só após aquecimento posterior do piso serão eliminadas. Após os 2º e 3º ciclos de aquecimento, os perfis quente e frio já estão iguais aos verificados no 1º ciclo, o que significa que as tensões são aliviadas logo no 1º aquecimento. Este comportamento foi verificado para todos os compostos analisados com exceção do composto *duro*, o que possivelmente pode significar que pelo facto do material *duro* ter mais reticulações - ligações cruzadas -, as ações mecânicas a que o piso extrudido possa estar sujeito não sejam suficientes para induzir tensões.

4.2 Implementação da correlação entre o perfil de pisos quente e frio

Avaliado o impacto de cada uma das variáveis em estudo, e definida a correlação existente entre perfil quente e frio em função da variável “Tipo de extrusão: Relaxada vs Esticada” traduzida através da variação de velocidade verificada na linha de extrusão, cabe agora definir

como será feita a implementação deste novo método de otimização no processo de abertura de fieiras. Para tal, decidiu-se o desenvolvimento de uma ferramenta em *Excel* capaz de ser utilizada por qualquer operador de forma perceptível, rápida e de fácil manuseamento, para que no momento de teste da fieira no processo de extrusão, seja fornecido rapidamente o perfil quente nominal, isto é, os valores que a medição do perfil quente deve tomar para que no final da linha se obtenha o perfil de piso desejado.

4.2.1 Procedimento de implementação

A implementação deste processo de otimização de abertura de fieira será feita seguindo a ordem lógica dos acontecimentos descrita no anexo I. Recebido o perfil nominal de piso pretendido, é escolhido um técnico de fieiras para iniciar o processo de abertura de uma nova fieira, fazendo este procedimento com base no seu conhecimento - *know-how* - e numa fieira de referência, isto é, numa fieira que já existe e tem um perfil semelhante. O técnico terá também de inserir o perfil nominal pretendido e o perfil da fieira na folha *Excel*. Uma vez criada, inicia-se o seu teste no processo de extrusão. Quando o processo estiver estável, o técnico de fieiras irá visualizar qual o estado da extrusão, isto é, qual a variação de velocidades, e a folha *Excel* desenvolvida irá calcular automaticamente o perfil quente nominal em função da variação de velocidade, que posteriormente será enviado para o perfilómetro na “zona a quente”.

Caso o perfil quente obtido seja igual ao nominal na linha de extrusão, a fieira está pronta para ser utilizada. Se tal não se verificar, o perfil quente obtido é enviado para a folha *Excel*, sendo feita uma comparação entre estes perfis e calculado o ajuste na fieira automaticamente, pelo que na secção seguinte será discriminado como é realizado este cálculo. Estando a fieira ajustada, procede-se a um novo teste na linha de extrusão e o procedimento descrito volta a ser repetido caso os perfis quentes nominal e obtido sejam diferentes.

4.2.2 Ferramenta desenvolvida *Hot Inline Adjustment*

A ferramenta a utilizar para implementação deste método foi desenvolvida em *Excel* com código *VBA* e é denominada por *Hot Inline Adjustment*, encontrando-se apresentada no anexo J.

Recebido o perfil nominal, o operador clica em “Criar Tabela”, e insere o número de pontos do “ombro para fora”, o ponto “interior do ombro” - este é sempre e apenas 1 ponto - e o número de pontos no “centro” do piso. Criada a tabela, o operador insere os valores especificados do perfil de piso nominal e o perfil da fieira e clica em “Exportar”. Iniciado o teste da fieira no processo de extrusão, verifica qual o valor da variação de velocidade e insere na folha *Excel*, sendo o perfil quente nominal automaticamente gerado. Clica em “Enviar para Perfilómetro Quente” para que o perfil quente nominal seja enviado para o perfilómetro na “zona a quente”. O perfil lido pelo perfilómetro é enviado para a folha *Excel*, é calculada a diferença entre perfis

nominal e obtido quente, e mediante esta diferença são calculadas quais as alterações necessárias para que a fieira tenha o perfil correto. A diferença verificada em termos de largura é proporcional à alteração de largura na fieira, mas o mesmo não se verifica em termos de espessura. Com base no *know-how* já existente, se a diferença entre espessuras apresentar um desvio de 0,1 mm, o ajuste é desta gama, mas se a diferença for de 1 mm, o técnico de fieiras terá de ajustar cerca de 0,6 mm na fieira. Com base nisto, traçou-se uma reta mostrada na figura 37 e definiu-se uma função linear de modo a dar essa *inteligência* à *Hot Inline Adjustment*.

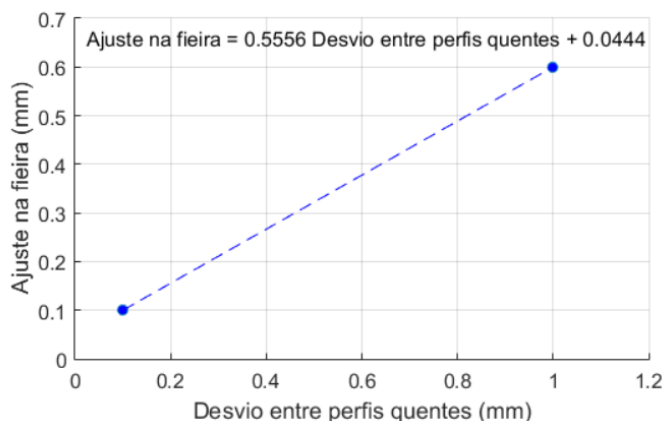


Figura 37-Cálculo do ajuste em termos de espessura feito à fieira.

No entanto, se o ajuste efetuado automaticamente não for do *agrado* do técnico, este poderá suprir com o valor que considerar necessário, escrevendo-o para tal na tabela “*Offset*”. O operador clica em “Enviar para *Mini Mill*”, e o perfil da fieira é convertido automaticamente para um ficheiro de texto codificado com um formato aceite pela *CNC*. Feitas as alterações na fieira, o operador insere a fieira no cabeçote de extrusão, e continua o teste da fieira, repetindo este procedimento até o perfil obtido no perfilómetro quente ser igual ao perfil nominal quente.

4.2.3 Validação do método desenvolvido

De forma a validar a correlação desenvolvida entre perfis quente e frio, assim como a ferramenta *Hot Inline Adjustment*, estão apresentados no anexo K exemplos de processos de abertura de 2 fieiras.

Verificou-se que a obtenção do perfil nominal desejado pelo cliente foi concretizado após 3 testes para a fieira denominada por “25780” e após 2 testes na linha de extrusão para a fieira “25789”, representando uma diminuição acentuada do número de paragens de produção uma vez que no processo atual são necessários, em média, cerca de 5 paragens por fieira. É de notar que o técnico abre a fieira com base no seu *know-know*, esta é testada na extrusão, verifica-se qual é o perfil quente obtido, e só depois é que é possível o ajuste automático da fieira com base nesta ferramenta.

Relativamente à utilização da ferramenta *Hot Inline Adjustment*, verificou-se uma fácil adaptação por parte dos técnicos, o que nos indica que a ferramenta não necessita de nenhuma alteração do seu conteúdo.

Apesar de não ser possível a testagem numa única paragem da linha de extrusão devido à ausência da *portable CNC Milling Machine* adjacente à linha de extrusão, os resultados obtidos são muito promissores, comprovando a eficácia deste novo método de otimização de fieiras.

4.3 Retorno Financeiro

Comparando o processo antigo com o desenvolvido nesta dissertação, verifica-se que a implementação deste método terá como principais alterações a redução do tempo para metade do uso de máquina/extrusora, do número de retificações necessárias, de mão-de-obra e uma redução de geração de pisos não conformes de 1200 kg para 600 kg.

Através dos cálculos efetuados evidenciados no anexo L, verifica-se que com a aplicação desta metodologia, a poupança anual será de **250 000 €** e a geração de *workoff* se reflete numa redução de **300 000 kg**.

4.4 Discussão

O objetivo desta dissertação foi o desenvolvimento e implementação de um novo método para otimização do processo de abertura de fieiras. Este estudo foi requisitado pela Continental Mabor, cuja motivação foi substituir o método tradicional por um capaz de ser mais rápido e eficaz. O principal resultado desta dissertação foi o desenvolvimento de uma correlação entre perfis quente e frio em função da variável “Tipo de extrusão: Relaxada vs Esticada”. Uma ferramenta em *Excel* capaz de calcular automaticamente qual o perfil quente nominal foi criada e, além disso, com base nas diferenças em termos de largura e espessura entre perfis quente nominal e obtido na linha de extrusão, calcula o ajuste que é necessário efetuar à fieira.

Sabendo-se que em qualquer processo industrial as condições de operação estão sujeitas a variações devido a fatores não controláveis, foi possível a determinação de uma correlação linear entre perfis em função do relaxamento/esticamento traduzida através da variação de velocidade. Resultados experimentais obtidos em medidas de produção mostram que variáveis como “Composto”, “Espessura do Piso” e “Temperatura antes do perfilómetro quente” não aparentam ter influência no comportamento dimensional do piso desde que é extrudido até ao fim da linha de extrusão, contrariando ao que inicialmente era expectável. É nesse sentido que surgem os testes adicionais na linha de extrusão com base em compostos de uma natureza distinta, e os laboratoriais, como ferramenta auxiliar para ajudar a compreensão deste estudo, verificando-se um comportamento similar ao que acontece na linha de extrusão.

Tal como mencionado, este método de otimização surge como uma topologia simples e eficaz, que substituirá o método iterativo atual, principalmente pelo seu princípio direto de aplicação. Como prova de conceito, este método foi testado na abertura de feiras, e os resultados experimentais obtidos aquando do teste de 2 feiras são bastante promissores, conseguindo-se uma redução de 3 amostras/paragens da linha de extrusão em relação ao processo atual.

Adjacente à realização deste trabalho foi ainda possível saber que este estudo pode ser utilizado como uma *debug tool*. Durante o desenrolar deste projeto, num período de 2 semanas aquando da realização dos testes de extrusão, verificou-se que todas as medidas de produção apresentavam uma diferença de largura total entre perfil quente e frio de 4 a 5 mm, e em termos de espessura apresentavam valores superiores a 0,35 mm, contrariando os resultados que haviam sido obtidos até esse momento. Nesse sentido foi realizada uma análise a todos os equipamentos da linha de extrusão e verificou-se que havia um pedaço de borracha entre os rolos das passadeiras de transporte que impedia o normal movimento do piso extrudido na linha de extrusão. Após a sua remoção, os resultados obtidos entre perfil quente e frio em função da variação de velocidade voltaram ao normal e expectável, continuando-se a recolha de dados na linha de extrusão; caso esta ferramenta não existisse, tal anomalia na linha de produção poderia passar despercebida, sendo que no pior caso, o comportamento errático do composto poderia resultar em ajustes desnecessários a uma feira de maneira a se contrariar algo de extraordinário que afetava a linha de extrusão. Além disso, este permitiu-nos perceber que mesmo tendo em conta uma extrusão relaxada, o piso ainda possui tensões residuais que só conseguem ser eliminadas através de uma “espécie” de recozimento térmico.

O desenvolvimento deste método levou à aquisição da *portable CNC Milling Machine*, contudo não é possível o teste deste método apenas com uma paragem da linha de extrusão e ajuste imediato da feira adjacente à linha até à chegada da mesma. Devido à elevada variabilidade de perfis quentes que podem ser criados em função da variação de velocidade, a inserção do perfil quente nominal no perfilómetro na “zona a quente” não pode ser feita de forma manual, pelo que já estão a ser desenvolvidos mecanismos/esforços com a Continental AG para que seja possível a ligação entre a ferramenta *Hot Inline Adjustment* e este aparelho de medição.

Em suma, o desenvolvimento desta correlação surge como uma nova realidade na Continental Mabor; os resultados relatados comprovam que esta dissertação alcançou os seus objetivos - determinação de uma correlação entre perfis na “zona a quente” e a “zona a frio”, ferramenta capaz de calcular o perfil quente nominal, redução do número de set-ups, do *workoff*, e o tempo de abertura de uma feira -, traduzindo-se numa poupança anual de **250 000 €** e uma redução de *workoff* de **300 000 kg**.

5 Conclusões

O processo de abertura de fieiras é um assunto muito debatido na indústria do pneu uma vez que pelo facto da determinação da geometria da fieira ser um processo iterativo e baseado essencialmente no *know-how* do técnico, envolve um elevado gasto de tempo e de recursos até se atingir o perfil de piso pretendido.

Neste sentido, o estudo levado a cabo nesta dissertação tinha como principal objetivo o desenvolvimento de um método capaz de correlacionar as alterações geométricas, em termos de largura e espessura, entre o perfil medido na “zona a quente” e na “zona a frio”, otimizando-se assim a obtenção do piso nominal pretendido através da análise das medições a quente, na própria linha de extrusão. Como resultado, um novo método é proposto, analisado, implementado e validado.

Através da revisão literária, a otimização deste processo passa por alternativas diferentes àquela proposta nesta dissertação. Embora já tenham sido feitos estudos na Continental AG sobre o comportamento de cada composto de borracha no processo de extrusão, nenhum se tornou reprodutível na linha de extrusão. Assim, a previsão do perfil quente nominal através da utilização da ferramenta desenvolvida *Hot Inline Adjustment* surgiu como algo eficaz e passível de ser utilizado facilmente por todos os técnicos de fieiras.

Por fim, foram realizados testes na linha de extrusão como prova deste conceito, validando-se assim a realização dos principais objetivos desta dissertação.

5.1 Trabalho Futuro

No início deste projeto só era possível o ajuste da fieira com base no perfilómetro frio e *offline*, pelo que era necessário esperar que o piso chegasse ao final da linha de extrusão para ser cortada uma amostra e verificar se o perfil estava conforme com o pretendido. Com a realização desta dissertação já é possível saber o perfil quente nominal, e mediante a sua comparação com o obtido, o ajuste da fieira pode ser feito na “zona a quente” não sendo necessário esperar que a amostra chegue ao final da linha de extrusão. Como trabalho futuro, seria interessante o estudo entre perfil nominal pretendido pelo cliente e abertura da fieira, estabelecer uma comparação entre perfis e deduzir como será o perfil da fieira para produzir o piso com o perfil desejado. Além disso, seria ainda aliciante a utilização de Redes Neurais Artificiais, através do desenvolvimento de um algoritmo capaz de prever eficazmente a abertura da fieira com base numa comparação entre perfil da fieira e perfil desejado, o que poderia traduzir-se num método eficaz para obtenção do perfil da fieira, evitando-se a previsão do perfil desta com base no *know-how* do técnico e em fieiras de referência. Ainda que se tratasse de um desafio interessante do ponto de vista académico, esta proposta englobaria mais recursos

computacionais, o que poderia não ser uma mais-valia pois iriam ser utilizadas ferramentas mais poderosas e complexas do que uma “simples” folha *Excel* que tem como objetivo a utilização por um técnico em *shop-floor level*.

5.2 Apreciação Final

Através da metodologia desenvolvida obteve-se bons resultados, conseguindo-se atingir todos os objetivos alcançados no período de desenvolvimento desta dissertação, ao contrário do que era esperado inicialmente, não sendo assim necessário a continuação deste projeto por futuros estagiários. Além disso, a implementação da correlação desenvolvida contribui significativamente para um melhor desempenho tanto dos técnicos como do processo, permitindo a otimização daquele que é considerado um *bottleneck* na indústria do pneu, e o aumento dos lucros e diminuição da geração de *workoff* da Continental Mabor.

Estando os objetivos concluídos, a satisfação e o sentimento de realização são inerentes, estando presente um sentimento de concretização por se ter ajudado uma unidade empresarial na resolução deste problema. A par, esta experiência possibilitou o desenvolvimento de *skills* sociais e interpessoais, essenciais a um engenheiro, possibilitando um crescimento tanto a nível pessoal como profissional.

Referências

- Adamiak, Marcin. Abrasion Resistance of Materials. InTech, 2012
- Brause, R.W; Pietruschka, Ulf. Adaptative Process Control in Rubber Industry. Internation Journal of Occupational Safety and Ergonomics, 1998.
- Caetano, Mário J. L. 2010. “Ciência e Tecnologia da Borracha”. [Online] Available: https://ctborracha.com/?page_id=6487. Acedido em 2/2/2018.
- Ciesielski, Andrew. An Introduction to rubber technology. Rapra Technology Ltd, Reino Unido, 1999
- Ciullo, Peter A., Hewitt, Norman. The Rubber Formulary. Noyes Publications, Nova Iorque, 1996.
- Continental AG. (2017) [Online] Available: http://report.conti-online.com/pages/management-report/corporate-profile/cp-structure/cp-structure_en.html Acedido a 25/1/2018.
- Continental Pneus. Intranet Continental Mabor. Lousado, Portugal, 2018.
- Crawford, Roy J. Plastic Engineering. Butterworth - Heinemann, Oxford, 1998.
- Crowther, B. Rubber Extrusion Theory and Development. Rapra Technology, Reino Unido, 1998.
- Dimensional Variation in Tire Tread Extrusions. Starrett-Bytewise Measurement Systems, 2013.
- Dick, John S. Review of common rubber factory problems and published causes and solutions. Rubber World, 2006.
- Donnet, Jean-Baptiste; Bansal, Roop Chand; Wang, Meng-Jiao. Carbon Black: Science and Technology. Marcel Dekker, Nova Iorque, 1993.
- Giles, Harold F.; Wagner, John R.; Mount, Eldridge M. Extrusion: The Definitive Processing Guide and Handbook. William Andrew, EUA, 2005.
- Grison, Élyo C.; Becker, Emilton J.; Sartori, André F. Borracha e seus aditivos. Letra Vida, 2010.
- Groover, Mikell P. Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes and Systems. John Wiley and Sons, EUA, 2010.
- Hofmann W. Rubber Technology Handbook. Hanser, Nova Iorque, 1989.
- Janosik, Thomas. Profile Inspection Online: Manual. Eslováquia, 2017.
- Kataoka, T.; Zetterlund, P. B.; Yamada, B. Prevention of rubber degradation by use of microencapsulated antioxidants. Rubber Chemistry and Technology, 2003.
- Kauzlarich, J. A profile die design method for a rubber extrudate using an analogy, 2005.
- Kocsis, J. Karger. Polypropylene: An A-Z reference. Kluwer Academic Publishers, Holanda, 1999.

- Kostic, Milivoje M.; Reifschneider, Louis G. Design of Extrusion Dies. Encyclopedia of Chemical Processing, 2006.
- Leach, R. K. Measurement Good Practise Guide: The measurement of Surface Texture using Stylus Instruments. National Physical Laboratory, 2001.
- Lindenmuth, B. (2006). An Overview of Tire Technology. National Highway Traffic Safety Administration.
- Loadman, M.J.R. Analysis of rubber and rubber like polymers. Kluwer Academic Publishers, Holanda, 1998.
- Mark, James E.; Erman, Burak; Roland, Mike. The Science and Technology of Rubber, Academic Press, 2013.
- Madeira, João. Quem são os maiores exportadores nacionais. Jornal Económico, 2017.
- Melo, J. Sérgio; Moreno, Maria João; Burrows, Hugh D.; Gil, Maria Helena. Química de Polímeros: Contribuições Portuguesas. Imprensa da Universidade de Coimbra, 2004.
- Michaeli, W. Extrusion Dies. Hanser, New York, 1984.
- Nijman, Gerard. Relaxed Extrusion: A very important precondition for high quality of treads. TireTech Group, Alemanha, 2017.
- Nóbrega, J.M.; Carneiro, O.S. Oliveira, P.J., Pinho, F.T. Flow Balance Optimization of Profile Extrusion Dies. 18th Annual Conf. of Polymer Processing Society, Guimarães, 2002.
- Noll optical measurement. TriScan-Offline: Profile measuring system for rubber products. Alemanha, 2015.
- Ordieres, J.; López, L.M.; Bello, A.; García, A. Intelligent methods helping the design of a manufacturing system for die extrusion rubbers. International Journal of Computer Integrated Manufacturing, Reino Unido, 2014.
- Poprawe, Reinhart. Tailored Light 2: Lase Application Technology. Springer, Alemanha, 2011.
- Rauwendaal, Chris. Polymer Extrusion. Hanser Publications, EUA, 2014.
- Rodgers, Brendan; Rubber Compounding: Chemistry and Applications. The Goodyear Tire Rubber Company, New York. 2004
- Sommer, John. Troubleshooting Rubber Problems. Hanser Publications, EUA, 2013
- Stabik, J. Influence of Filler Particle Geometry on Die. Hanser Publishers, Munich, 2004.
- Strong, A Brent. Plastics: Materials and Processing. Prentice Hall, New Jersey, 2006.
- Tadmor, Zehev; Gogos, Costas G. Principles of Polymer Processing. John Wiley and Sons, EUA, 2006.
- Tobergte, David R., e Shirley Curtis. The Science and Technology of Rubber. Journal of Chemical Information and Modeling, 2013.
- Wang, Kejian. Die Swell of Complex Polymeric Systems. InTech, 2012.

Anexo A

Os compostos de borracha são constituídos por diversos componentes, cuja composição varia essencialmente com as características desejadas para o pneu que irá ser produzido. De seguida é feita uma breve descrição de cada matéria-prima.

A.1. Polímeros

Os compostos de borracha são constituídos maioritariamente por borracha podendo ser natural ou sintética. A borracha é um elastómero e possui propriedades viscoelásticas, o que significa que se trata de um polímero com uma componente elástica e plástica devido à estrutura química do material. Uma vez que são constituídos por cadeias poliméricas longas e emaranhadas, quando sujeitas a uma tensão irão alongar-se provocando a redução de entropia do sistema. No entanto, como este fenómeno não é um processo termodinâmico favorável, quando esta tensão é removida, as cadeias tendem a voltar à sua posição inicial, provocando a sua contração (Rodgers, 2004).

A borracha natural é obtida através da seiva da árvore Seringueira, *Hevea brasiliensis*, na forma de látex. Este látex é constituído por água, poliisopreno e pequenas quantidades de outros ingredientes, como proteínas e carboidratos. O poliisopreno é obtido do látex através de várias etapas, envolvendo, preservação, concentração, coagulação com ácido fórmico em grandes tanques, desidratação, secagem, limpeza e mistura (Ciesielski, 1999; Ciullo e Hewitt, 1996).

Este material apresenta muitos atributos entre os quais boa histerese, resistência à abrasão, tração, rutura, fadiga, elevada resistência em verde - antes de ocorrer vulcanização - e baixa resistência ao rolamento (Rodgers, 2004). Apresenta como desvantagem uma baixa resistência ao envelhecimento por agentes atmosféricos entre os quais, oxigénio, ozono, luz ultravioleta e baixa resistência a produtos químicos, como por exemplo gasolina, lubrificantes sintéticos e solventes (Adamiak, 2012).

Fortemente usada na indústria automóvel, cerca de 70 % do consumo da borracha natural tem como fim o fabrico de pneus (Adamiak, 2012).

As borrachas sintéticas são produzidas a partir de derivados de petróleo. Cerca de 60 % da borracha sintética fabricada é utilizada na produção de pneus. A borracha de estireno butadieno representa mais de 65 % da borracha sintética utilizada nos pneus, seguida pela borracha de polibutadieno e pela borracha halobutílica (Mark et al, 2013).

A borracha de estireno butadieno apresenta uma ótima resistência ao desgaste; porém, quando comparada com a borracha natural tem uma baixa resistência ao rasgamento e uma velocidade de cura mais lenta. Apresenta ainda elevada histerese e baixa resiliência o que facilita a aderência do piso na estrada, especialmente em condições molhadas, mantendo boa resistência à tração (Mark et al, 2013). A presença do estireno contribui para reduzir a tendência do polímero para cristalizar sob ação de tensões elevadas. Uma desvantagem das borrachas de estireno butadieno e natural é a absorção de solventes orgânicos, tais como gasolina e óleo, provocando inchamento (Continental Pneus, 2018).

A borracha de polibutadieno oferece boa resistência à abrasão, envelhecimento e resiliência, e uma baixa resistência à fadiga e ao rasgo. Quando misturada com a borracha natural, verifica-se uma resistência à fadiga e ao corte melhorada (Grison et al, 2010; Mark et al, 2013). A borracha halobutílica tem como principal característica uma baixa permeabilidade sendo por isso o constituinte maioritário da camada estanque do pneu (Continental Pneus, 2018).

A.2. Cargas

A presença de cargas nos compostos de borracha são essenciais para melhorar as suas propriedades mecânicas - carga de reforço - tais como aumentar a resistência à abrasão, desgaste, rasgamento, dureza e prolongar a vida útil do pneu, bem como para reduzir o custo do material - carga de não reforço.

Para tal, negro de fumo e sílica são as cargas mais utilizadas. Dependendo das propriedades pretendidas, podem ser combinadas no mesmo composto de borracha, sendo necessário garantir uma boa dispersão destas substâncias para se obter um reforço eficaz.

O negro de fumo é uma carga preta reforçadora sob a forma de partículas aproximadamente esféricas, produzidas através da combustão incompleta ou da decomposição térmica de hidrocarbonetos na ausência de oxigénio, em condições extremamente controladas. O nível de reforço deste material está relacionado com o tamanho médio das suas partículas, a sua estrutura e atividade superficial. O seu maior uso centra-se na indústria automóvel, no reforço dos compostos de borracha utilizados no fabrico de pneus (Donnet et al, 1993).

Em relação ao negro de fumo, a sílica apresenta duas vantagens, nomeadamente redução na geração de calor quando usada para substituir o negro de fumo, e melhoria na resistência ao rasgo e corte. Quando comparadas com partículas do mesmo tamanho de negro de fumo, as partículas de sílica comunicam um reforço inferior ao composto de borracha devido à semelhança de polaridade ao polímero, e se forem adicionadas em grande quantidade, reduzem a sua resistência ao desgaste (Mark et al, 2013). De forma a colmatar este efeito, são adicionados agentes de acoplamento de silano que modificam a superfície polar da sílica.

O carbonato de cálcio é utilizado como uma carga de não reforço para reduzir o custo dos compostos de borracha, apresentando uma baixa resistência ao rasgo e durabilidade dinâmica (Tobergte e Curtis, 2013).

A.3. Auxiliadores do processo

Os auxiliares de processo englobam óleos amaciadores, plastificantes e compatibilizadores e têm uma função bastante importante no processo de fabrico de um pneu, sobretudo em operações como mistura, calandragem, extrusão e moldagem.

Os óleos amaciadores e os plastificantes alteram as propriedades físicas através da redução da dureza e da resistência tênsil, e do aumento da extensibilidade e ductilidade; e no processamento da mistura, reduzindo a viscosidade, permitem uma incorporação mais rápida das cargas, sendo a dispersão facilitada pela falta de atrito, o que se traduz numa maior eficiência e menor consumo energético durante o processamento (Grison et al, 2010).

Os compatibilizadores são utilizados para tornar as misturas compatíveis, promovendo a homogeneidade da mistura e induzindo uma melhoria significativa das propriedades mecânicas (Melo et al, 2004).

A.4. Componentes de vulcanização

Os sistemas de vulcanização são constituídos por agentes, aceleradores e ativadores de vulcanização, que combinados produzem as características de vulcanização pretendidas e as propriedades do composto vulcanizado desejadas.

O agente de vulcanização mais utilizado na indústria da borracha é o enxofre e tem como função o aumento do número de reticulações, também chamado de *crosslinking* entre as cadeias de borracha de forma a transformar o elastómero, inicialmente com características plásticas, em elásticas, tal como desejado.

O grau de vulcanização - densidade de reticulações - depende da quantidade de agente de vulcanização, da sua atividade e do tempo de reação, pelo que existem compostos de borracha com propriedades viscoelásticas distintas (Hofmann, 1989).

Propriedades como rigidez, dureza, resistência à tração e ao desgaste são melhoradas; ao invés, alongamento, histerese e a deformação permanente são diminuídos (Rodgers, 2004).

Outros agentes de vulcanização podem ser utilizados como é o caso dos peróxidos e dos óxidos metálicos. No entanto, estes agentes não conseguem competir com o enxofre como agente de vulcanização, visto que este fornece um excelente equilíbrio entre desempenho - elevada resistência e durabilidade - e um custo, que é muito baixo (Rodgers, 2004).

Como a vulcanização com enxofre é um processo lento e ineficiente, torna-se necessário melhorar a eficiência deste processo através do uso de ativadores e de aceleradores.

Os ativadores de vulcanização são substâncias que melhoram a ação dos aceleradores, aumentando a cinética de vulcanização dos compostos. O sistema de ativadores mais utilizado é a combinação do ácido esteárico com óxido de zinco que ao serem aquecidos formam o estereato de zinco. Este é solúvel na matriz polimérica o que facilita o processo de reticulação (Melo et al, 2004).

Os aceleradores são substâncias que, quando adicionadas aos compostos de borracha, aumentam a velocidade da reação de vulcanização ou diminuem o tempo necessário para se atingir o índice de cura desejado, melhorando as propriedades físico-mecânicas destes compostos. Estes são classificados de acordo com a velocidade de vulcanização - lenta, média, rápida e ultra rápida - e quanto à composição química. Exemplos típicos de aceleradores são aldeído-aminas, amidas, aminas, entre outros (Melo et al, 2004).

A.5. Agentes químicos protetores

As propriedades dos pneus sofrem alterações irreversíveis após armazenamento à temperatura ambiente por cinco anos ou após o seu uso no carro por período semelhantes, sendo causadas por uma variedade de reações químicas (Kataoka et al, 2003).

Assim, antioxidantes e antiozonantes são utilizados como agentes químicos protetores nos compostos de borracha, ou seja, antidegradantes, de forma a reduzir a deterioração dos compostos quando sujeitos às condições atmosféricas - ar, luz, calor, ozono e radiação.

Os antioxidantes têm como função reduzir o efeito da ação do oxigênio, travando a velocidade do processo de oxidação, permitindo um aumento do tempo de vida destes compostos (Rodgers, 2004).

Os antiozonantes protegem os compostos de borracha contra o ozono presente na atmosfera e são utilizados quando os componentes externos de um produto são de borracha vulcanizada, tal como acontece nos pneus. As ceras de parafina são as mais utilizadas na indústria de pneus (Rodgers, 2004; Loadman, 1998).

Anexo B

Uma extrusão relaxada tem como objetivo a obtenção de um piso com o mínimo de tensões internas e a minimização do efeito de encolhimento após corte do piso no sistema de corte.

Para tal, é necessário compreender 3 fenômenos, a viscoelasticidade do material, a distribuição do fluxo dos diferentes compostos na fieira, e o transporte do produto ao longo das passadeiras, para que no final da linha de extrusão o piso apresente as características desejadas.

- Viscoelasticidade do material

Durante o processo de extrusão, as moléculas ficam orientadas na direção do escoamento, e são comprimidas de forma a conseguirem atravessar a fieira, verificando-se um estreitamento das linhas de corrente e um aumento do gradiente de velocidades. No entanto, após abandonar a fieira, o material extrudido tem tendência em retornar à sua forma inicial devido à memória elástica dos compostos de borracha. Na figura B.1 é apresentado este comportamento, fazendo a analogia da passagem do material na fieira a uma bola.

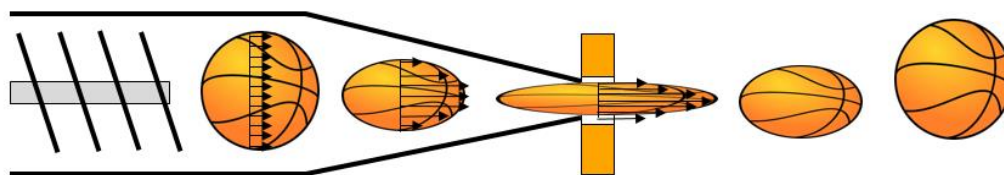


Figura B.1-Analogia à passagem do material na fieira.

Para auxiliar este processo, a passadeira de transporte instalada imediatamente após a extrusão do material - *shrinkage conveyor* - representada na figura B.2, deve apresentar um gradiente de velocidade decrescente de modo a não provocar esticamentos no extrudido, eliminando grande parte das tensões internas no piso e permitindo que o material fique completamente relaxado.

Na linha de extrusão, a eliminação das tensões internas do material é controlada através das velocidades antes - v_1 - e após o primeiro loop - v_2 . Isto porque, este *loop* permite que o material fique completamente “livre”, sem qualquer tipo de força a atuar. Assim, se no ponto 1 o material estiver completamente relaxado, significa que no *loop* o material não irá perder mais tensões uma vez que já não as tem, e portanto no ponto 2 a velocidade será a mesma que no ponto 1. Estando o material relaxado, as passadeiras de transporte ao longo da linha de extrusão permanecem com a velocidade verificada em v_1 e v_2 de forma a não provocar esticamentos no piso extrudido.

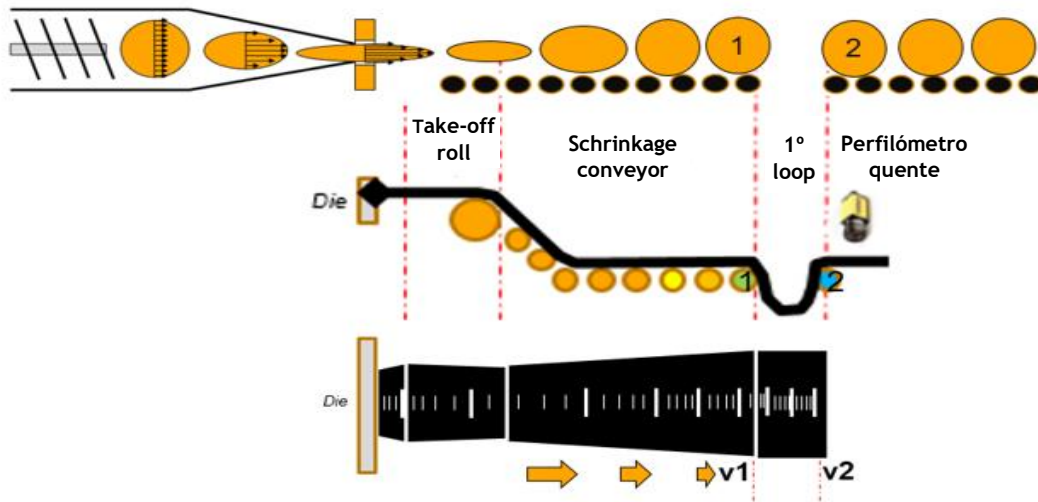


Figura B.2-Comportamento do piso numa extrusão relaxada antes do sistema de arrefecimento.

- Distribuição do perfil de velocidades

Outro fator importante é a distribuição do perfil de velocidades do material na fieira, que se encontra representado na figura B.3. É de notar que cada fieira possui uma determinada geometria pelo que o perfil de velocidades também será diferente.

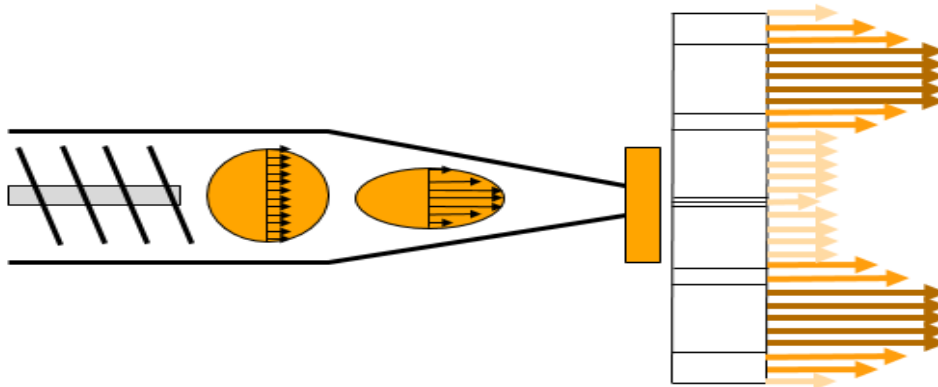


Figura B.3-Perfil de velocidades.

Uma vez que as passadeiras de transporte têm velocidade decrescente, será expectável uma redução da velocidade em todos os pontos do fluxo extrudido. No entanto, como as velocidades não são iguais em todos os pontos do perfil como exemplificado na figura B.4, vão existir zonas onde a redução de velocidade será tal que o piso começa a apresentar ondulações, o que não é desejado.

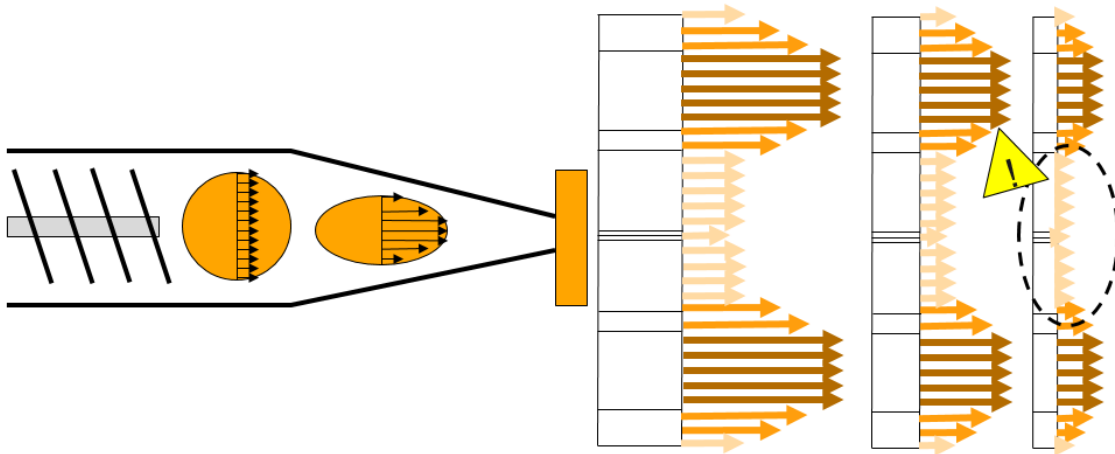


Figura B.4-Perfil de velocidades ao longo do shrinkage conveyor.

De forma a evitar este fenómeno, devem ser utilizadas fieiras com chanfros - inclinações que se fazem na parte traseira da superfície da fieira com o objetivo de balancear as velocidades de escoamento de composto - para se obter um perfil de velocidades constante como apresentados na figura B.5. Assim, irá verificar-se um relaxamento do material constante e igual em todos os pontos do piso à medida que o gradiente de velocidades do *shrinkage conveyor* diminui.

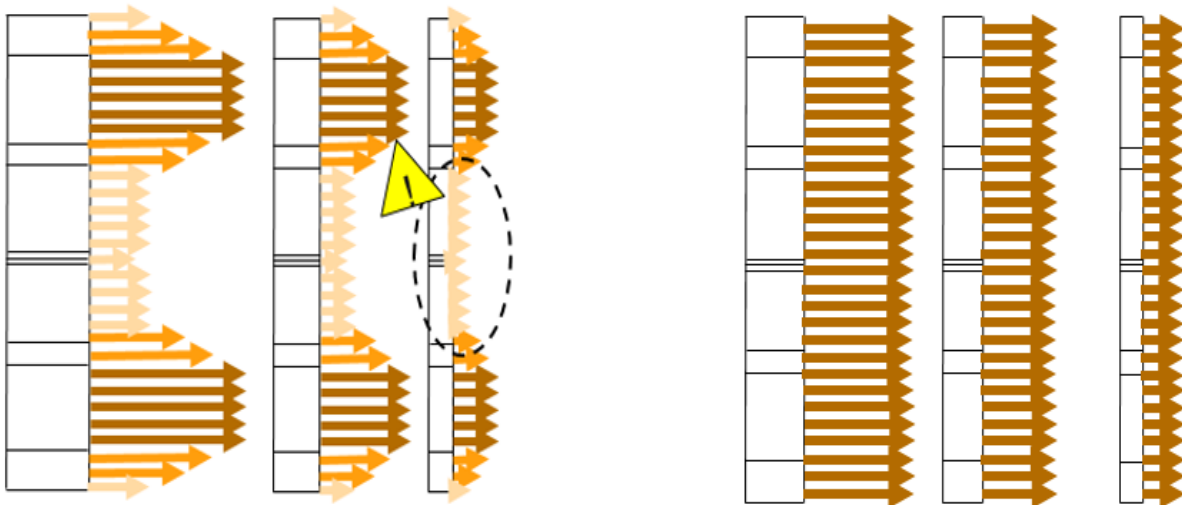


Figura B.5-Perfil de velocidades de uma fieira com chanfros.

- Transporte do produto nas passadeiras

Na linha de extrusão e durante o arrefecimento do material extrudido existem balanceiros que controlam a velocidade das passadeiras. Este equipamento e as passadeiras têm de estar calibrados corretamente de forma a permitir que não ocorram esticamentos no piso, e que o material contraia no sistema de arrefecimento como pretendido, obtendo-se um produto

estabilizado após corte do piso. Na figura B.6 é apresentado o comportamento do piso numa extrusão relaxada.

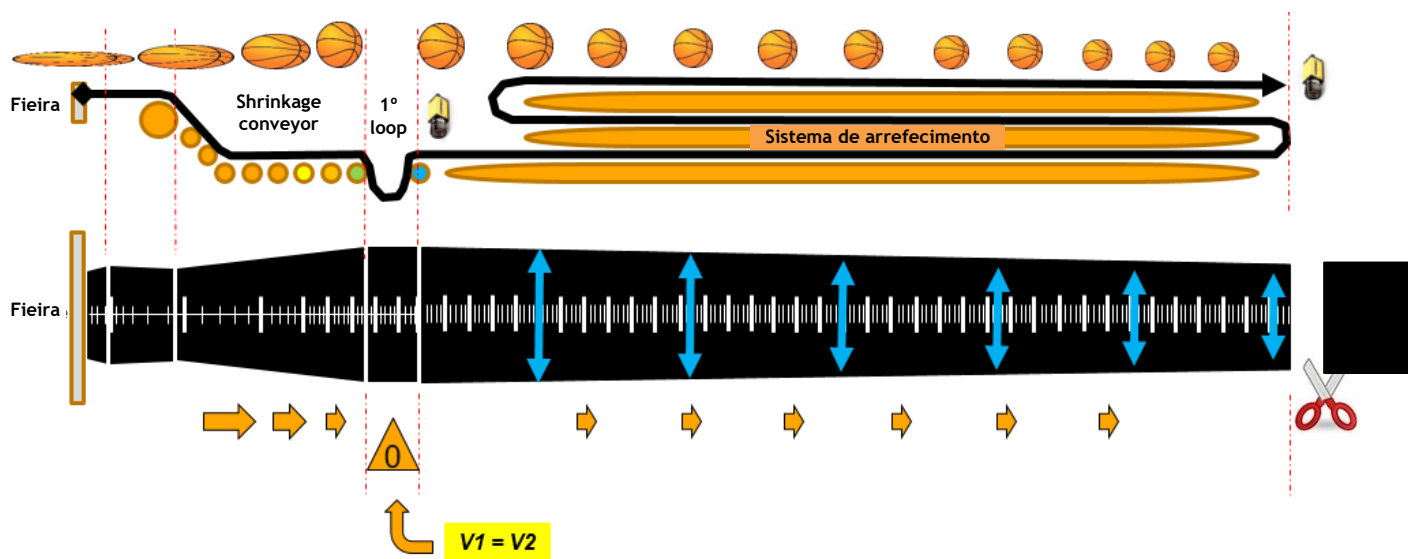


Figura B.6-Comportamento do piso numa extrusão relaxada.

Em contrapartida, se a extrusão for esticada, não é obedecido o comportamento natural do composto isto é, o efeito de inchamento à saída da fieira - *die swell* - é minimizado devido ao esticamento provocado pela velocidade das passadeiras *shrinkage conveyor*, e após corte do piso, obtemos um perfil não estabilizado, verificando-se um encolhimento em termos de comprimento e um aumento de largura e espessura, tal como exemplificado na figura B.7.

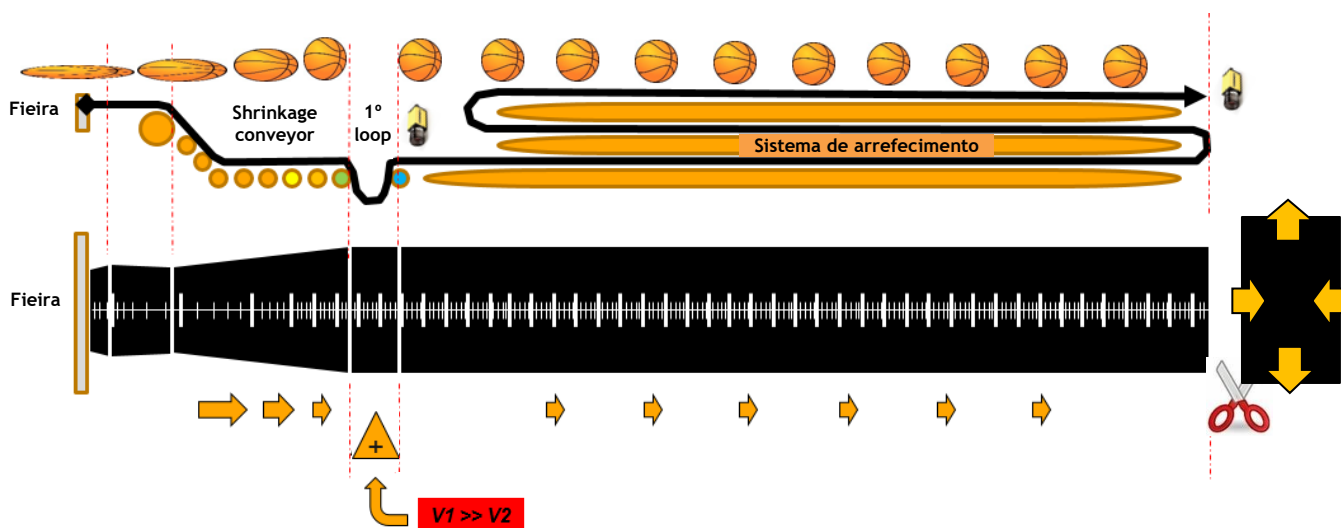


Figura B.7-Comportamento do piso numa extrusão esticada.

Através da análise da figura B.7 é possível verificar que o piso não possui alterações dimensionais depois de entrar no sistema de arrefecimento pelo que o perfil do piso na “zona a quente” é igual ao perfil do piso na “zona a frio”. Isto porque, uma vez que o *shrinkage*

conveyor não possui um gradiente de velocidades decrescente e portanto o comportamento natural do composto não foi obedecido, os balanceiros instalados ao longo do sistema de arrefecimento vão emitir um sinal às passadeiras de transporte para reduzir a velocidade, de forma a minimizar o tensionamento do piso, e este terá um comportamento semelhante ao evidenciado na figura B.8, verificando-se um aumento de largura e encolhimento em termos de comprimento ao longo do piso.

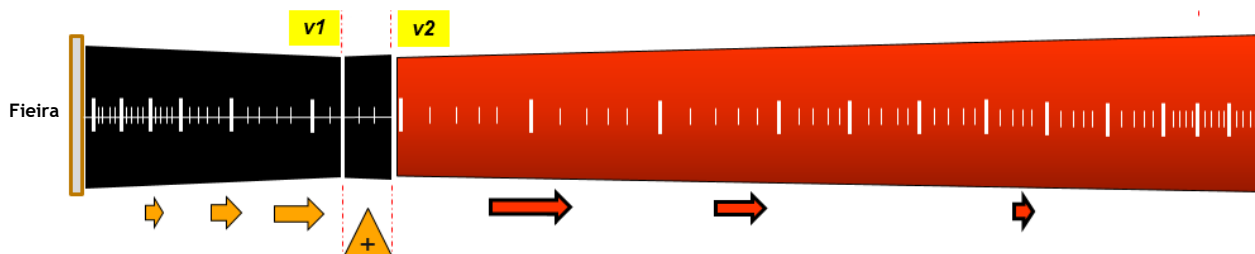


Figura B.8-Influência dos balanceiros e das passadeiras de transporte no comportamento do piso numa extrusão esticada.

Por outro lado, os tanques de arrefecimento vão fazer com que o material contraia devido ao abaixamento de temperatura a que são sujeitos e irá verificar-se uma contração tanto a nível de comprimento como de largura tal como mostrado na figura B.9.

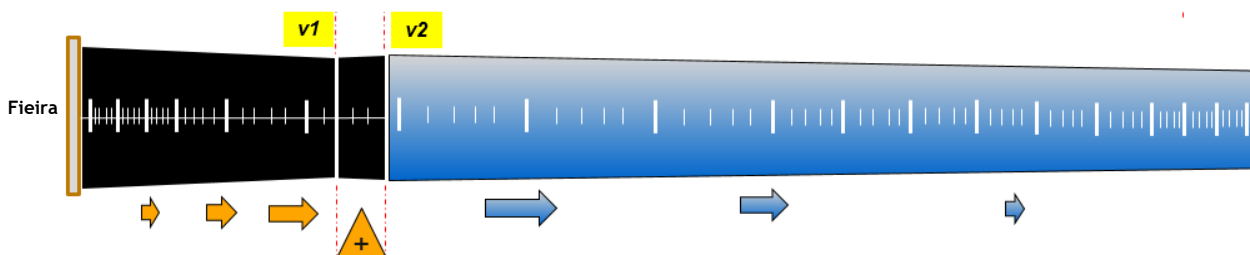


Figura B.9-Influência do abaixamento de temperatura no tanque de arrefecimento no comportamento do piso numa extrusão esticada.

Como estes 2 efeitos acontecem em simultâneo, anulam-se, não se verificando alterações dimensionais no piso, daí o perfil medido na “zona a quente” ser igual ao medido na “zona a frio”.

Em suma, uma extrusão relaxada requer que o *shrinkage conveyor* possua um adequado gradiente de velocidades; para que o material consiga retornar à sua forma original, a fieira tem de possuir chanfros para que o perfil de velocidades na fieira seja igual em todos os pontos e os balanceiros têm de estar calibrados corretamente para que não haja esticamentos do piso no sistema de arrefecimento.

De seguida, são apresentados 2 exemplos práticos de pisos extrudidos sob ação de uma extrusão relaxada e esticada. Para cada tipo de extrusão encontram-se representados os perfis do piso em 3 pontos da linha de extrusão, na “zona a quente” após passagem no *loop*, na “zona a frio” após sistema de arrefecimento e por fim, depois do corte de uma secção de piso, tal como exemplificado na figura B.10.



Figura B.10-Pontos de medição na linha de extrusão.

- Exemplo extrusão relaxada

Na “zona a quente” da linha de extrusão, o piso apresenta o seguinte perfil com um comprimento total de 226,2 mm.

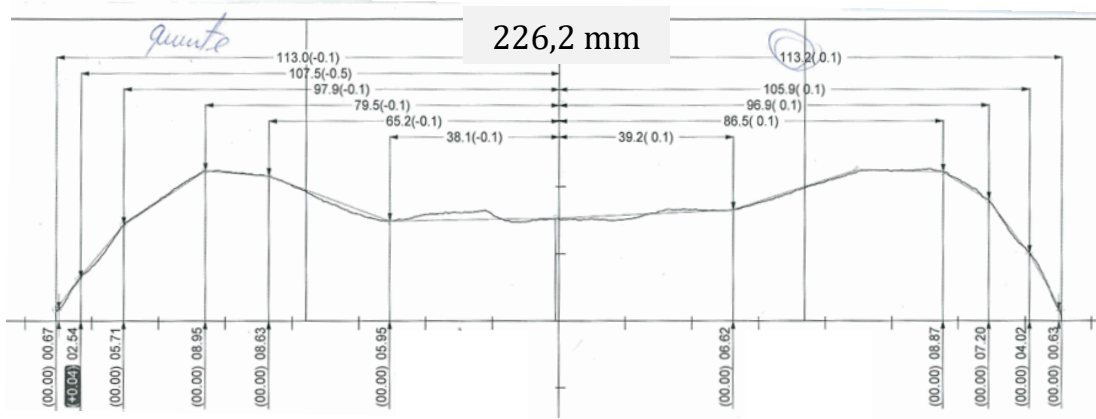


Figura B.11-Perfil do piso na “zona a quente” numa extrusão relaxada.

Durante o arrefecimento, ocorre a contração do piso tanto a nível de espessura como de largura, verificando-se uma redução de largura de 1,2 %.

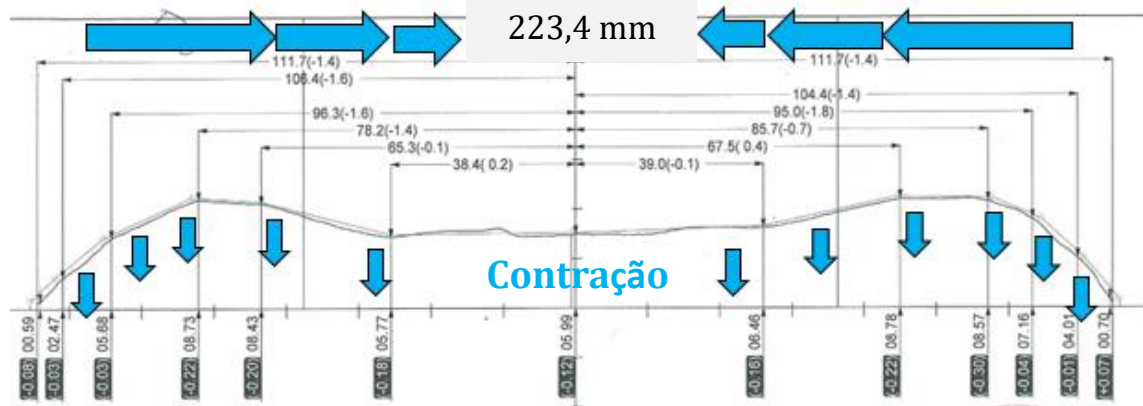


Figura B.12-Perfil do piso após arrefecimento numa extrusão relaxada.

Após corte do piso, verifica-se que o perfil apresenta uma largura de 223,8 mm, pelo que se conclui que o piso se encontra estabilizado.

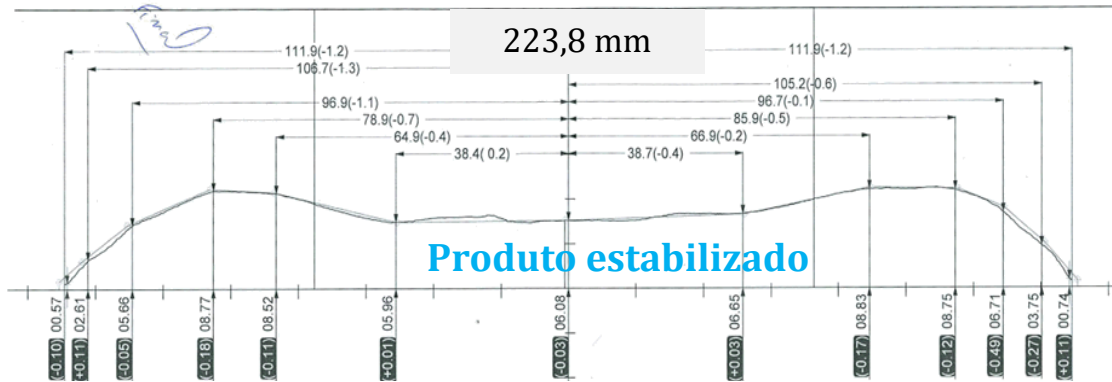


Figura B.13-Perfil do piso após corte numa extrusão relaxada.

- Exemplo extrusão esticada

O piso apresenta um comprimento de 211,4 mm na “zona a quente” da linha de extrusão.

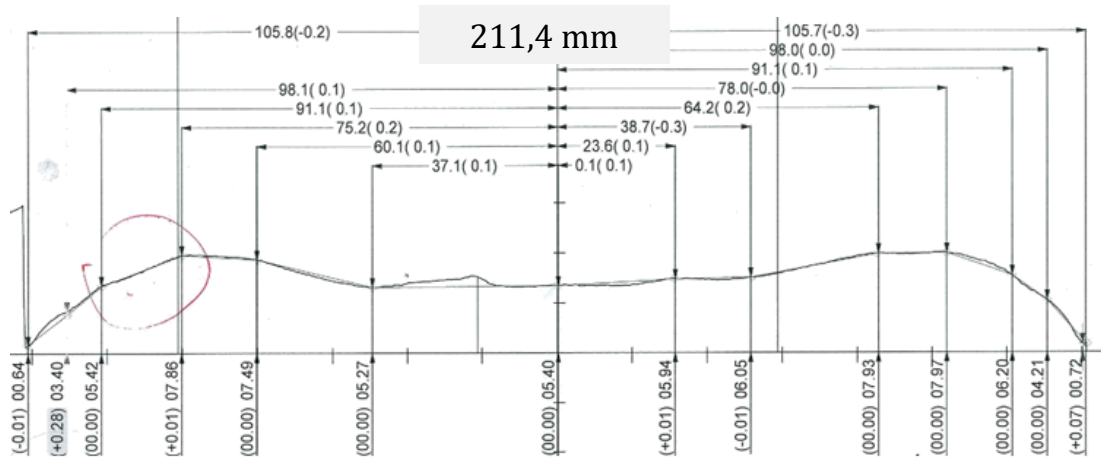


Figura B.14-Perfil do piso na “zona a quente” numa extrusão esticada.

Durante o arrefecimento verifica-se que o piso contrai tanto a nível de espessura como de largura apresentando uma redução de largura de cerca de 0,85 %.

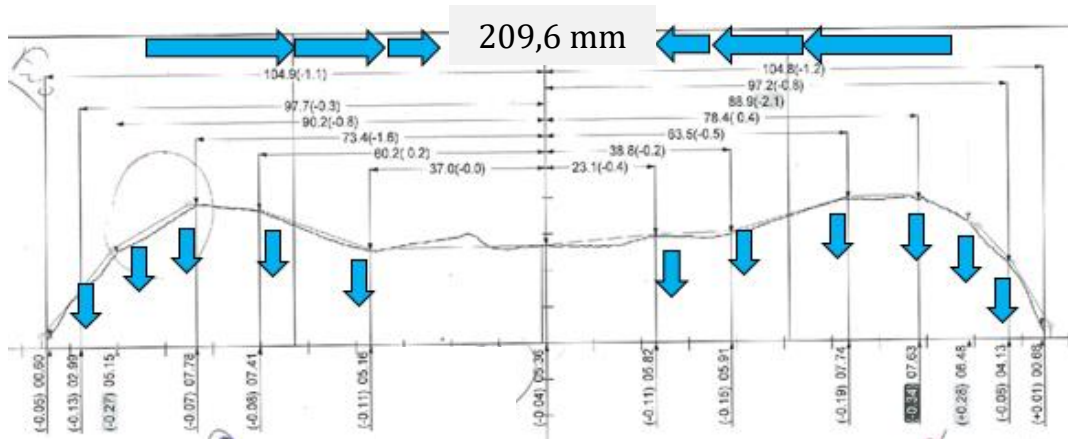


Figura B.15-Perfil do piso após arrefecimento numa extrusão esticada.

Após corte do piso, verifica-se um aumento de espessura e de largura do piso, o que se conclui que no final da linha de extrusão, o piso não se encontra estabilizado, e portanto o material irá relaxar, adquirindo um perfil não conforme com o pretendido, o que leva a uma maior geração de *workoff*.



Figura B.16-Perfil do piso após corte numa extrusão esticada.

Anexo C

A folha de registo desenvolvida pela autora para facilitar a recolha de dados dos testes de extrusão encontra-se apresentada de seguida.

Folha de Registo de Perfilometrias	
Dia:	
Nº do teste:	Temperatura (°C):
Medida de produção:	v1 (m/min):
Composto Capa:	v2 (m/min):
Composto Base:	v3 (m/min):
Composto Asa:	v4 (m/min):
Fieira:	Comprimento da marca (mm):
Dia:	
Nº de teste:	Temperatura (°C):
Medida de produção:	v1 (m/min):
Composto Capa:	v2 (m/min):
Composto Base:	v3 (m/min):
Composto Asa:	v4 (m/min):
Fieira:	Comprimento da marca (mm):
Dia:	
Nº de teste:	Temperatura (°C):
Medida de produção:	v1 (m/min):
Composto Capa:	v2 (m/min):
Composto Base:	v3 (m/min):
Composto Asa:	v4 (m/min):
Fieira:	Comprimento da marca (mm):

Anexo D

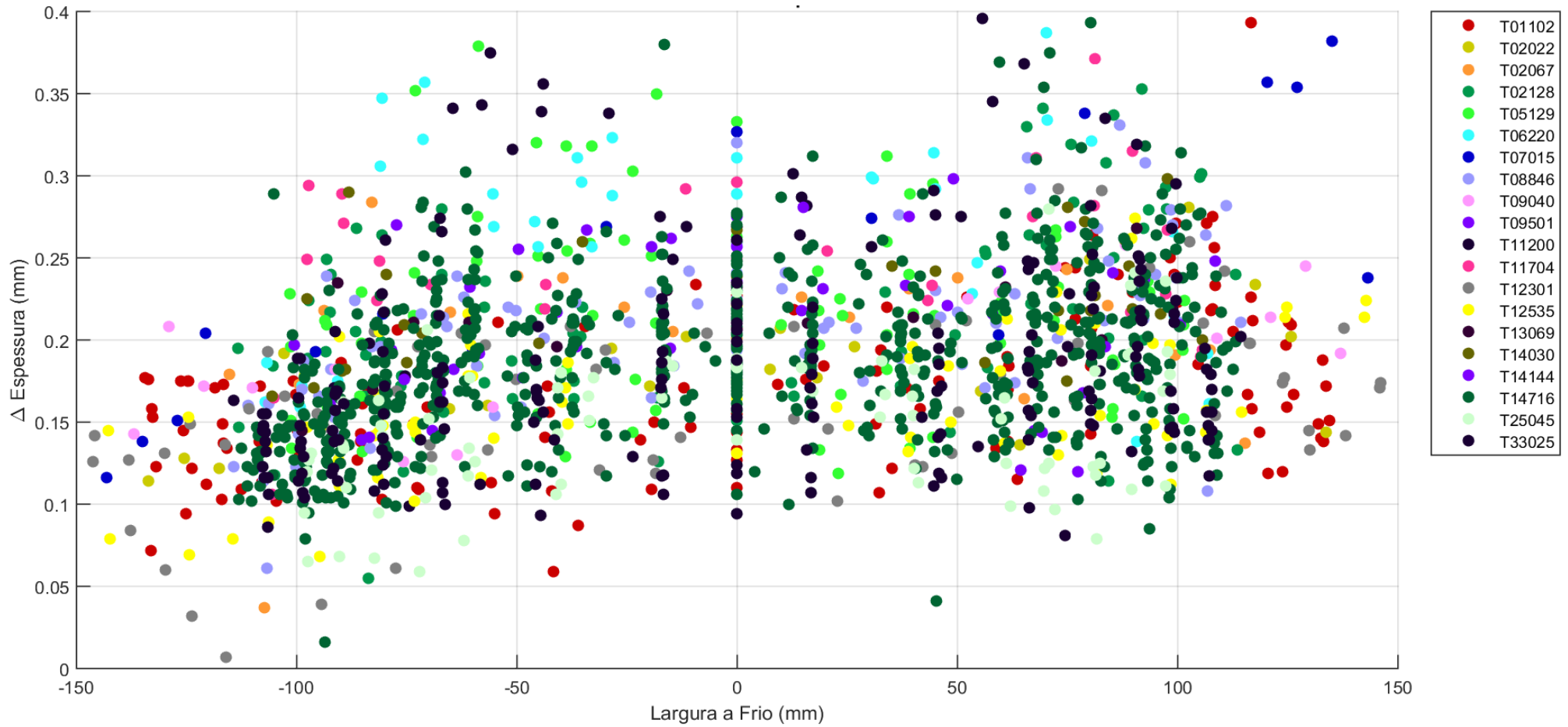


Figura D.1-Influência do composto na variação de espessuras.

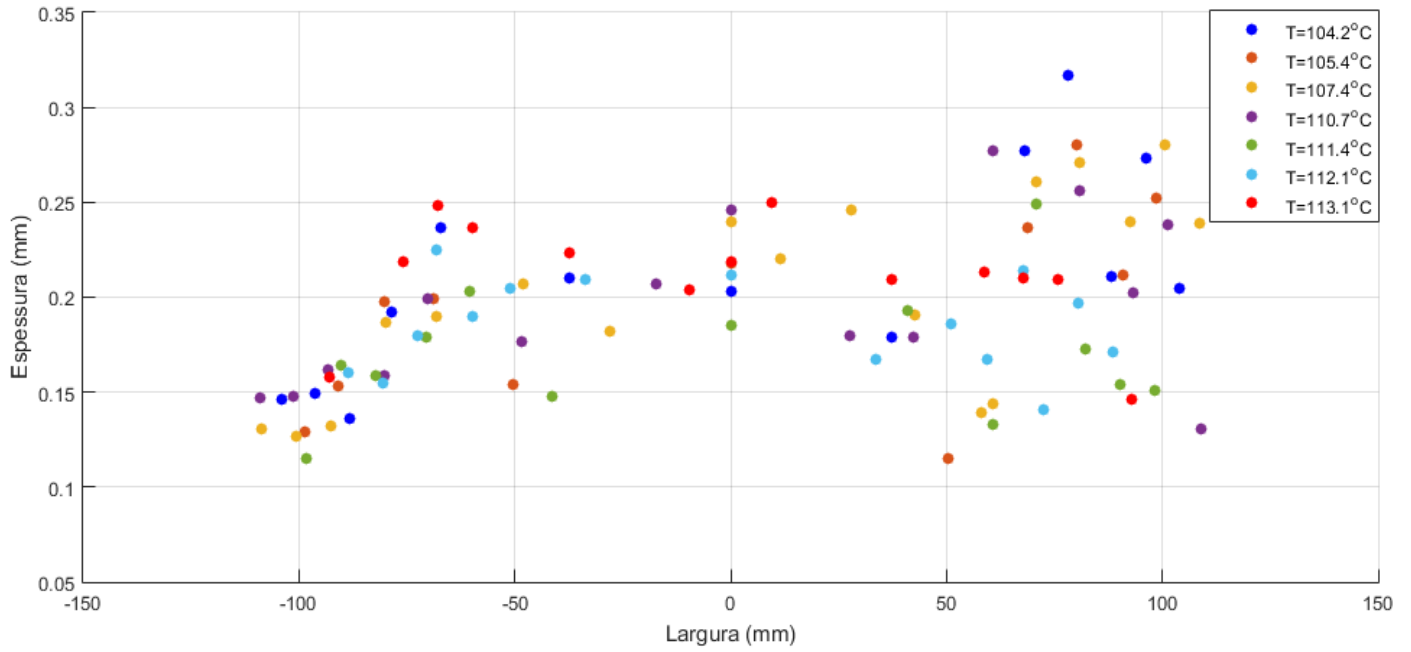
Anexo E

Tabela E.1-Variação de largura total média para todas as variações de velocidade.

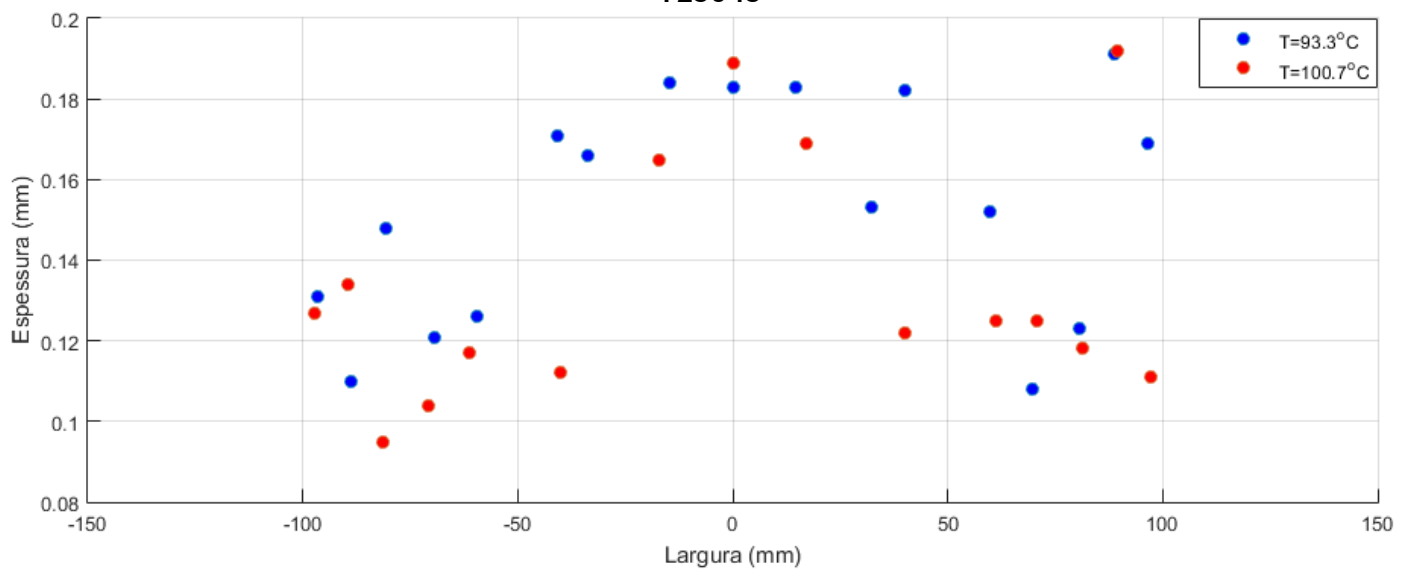
Composto	$\bar{\Delta}$ Largura Total para cada composto (mm)											
	$\Delta v = 0,1$ (m/min)	$\Delta v = 0,2$ (m/min)	$\Delta v = 0,3$ (m/min)	$\Delta v = 0,4$ (m/min)	$\Delta v = 0,5$ (m/min)	$\Delta v = 0,6$ (m/min)	$\Delta v = 0,8$ (m/min)	$\Delta v = 0,9$ (m/min)	$\Delta v = 1,0$ (m/min)	$\Delta v = 1,1$ (m/min)	$\Delta v = 1,2$ (m/min)	$\Delta v = 1,3$ (m/min)
T02128	2,604	3,432	2,928	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
T09040	3,024	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
T14144	3,014	-----	2,664	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
T08846	3,100	3,550	2,504	-----	-----	2,996	-----	-----	-----	-----	-----	-----
T11200	3,004	3,572	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
T33025	3,121	-----	2,306	-----	-----	-----	-----	2,103	2,070	-----	1,722	-----
T11704	3,058	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
T02022	3,334	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
T14716	2,684	2,388	2,694	2,575	2,469	2,435	2,594	-----	-----	-----	-----	-----
T02067	3,242	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
T01102	-----	2,993	-----	-----	3,442	-----	3,134	-----	2,040	-----	2,643	-----
T06220	-----	3,166	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
T05129	-----	3,530	2,834	2,684	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
T14030	-----	-----	3,128	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
T12301	-----	-----	-----	-----	2,456	-----	1,986	-----	-----	-----	-----	-----
T13069	-----	-----	-----	-----	-----	2,192	-----	-----	-----	-----	-----	-----
T12535	-----	-----	-----	-----	-----	-----	1,784	2,306	-----	-----	1,790	1,598
T25045	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	2,104	1,942	1,930	-----	1,556
Média	3,027	2,982	2,706	2,587	2,543	2,470	2,237	2,144	2,031	1,930	1,736	1,570
Desvio padrão	0,207	0,491	0,295	0,132	0,359	0,275	0,547	0,119	0,060	0	0,369	0,0984

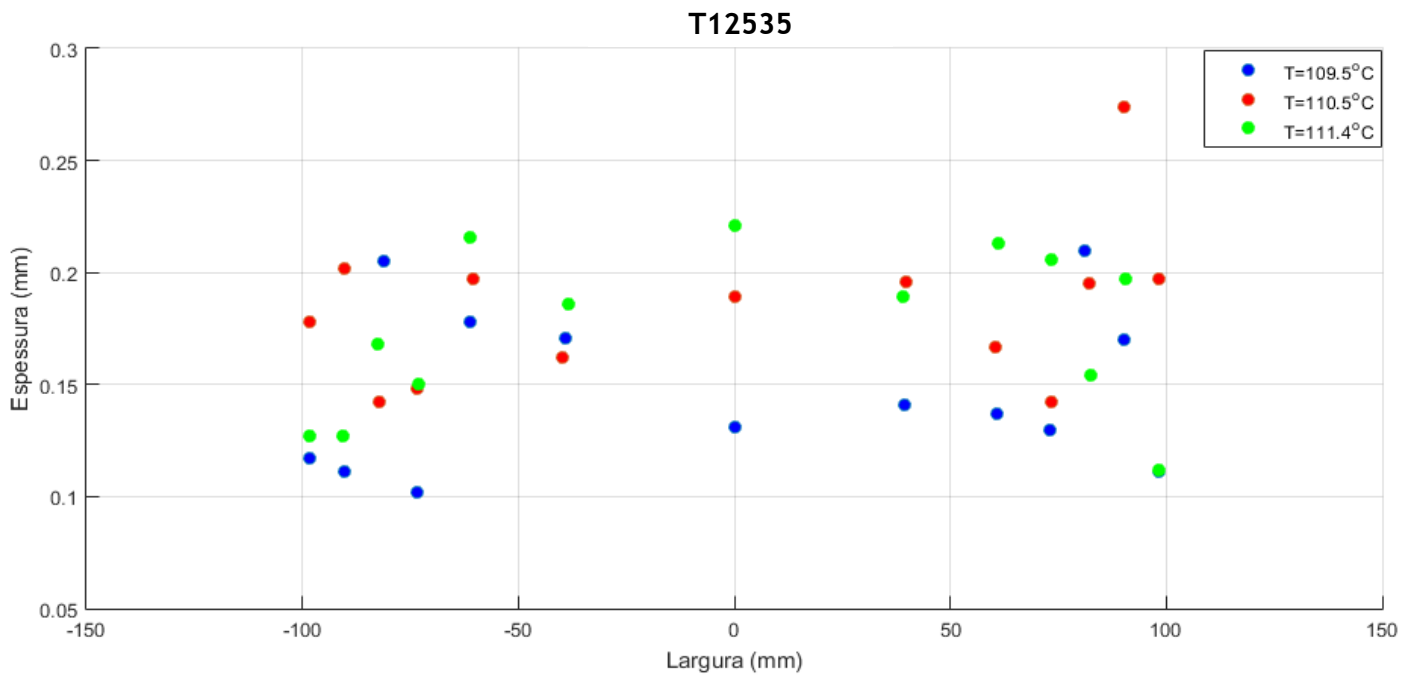
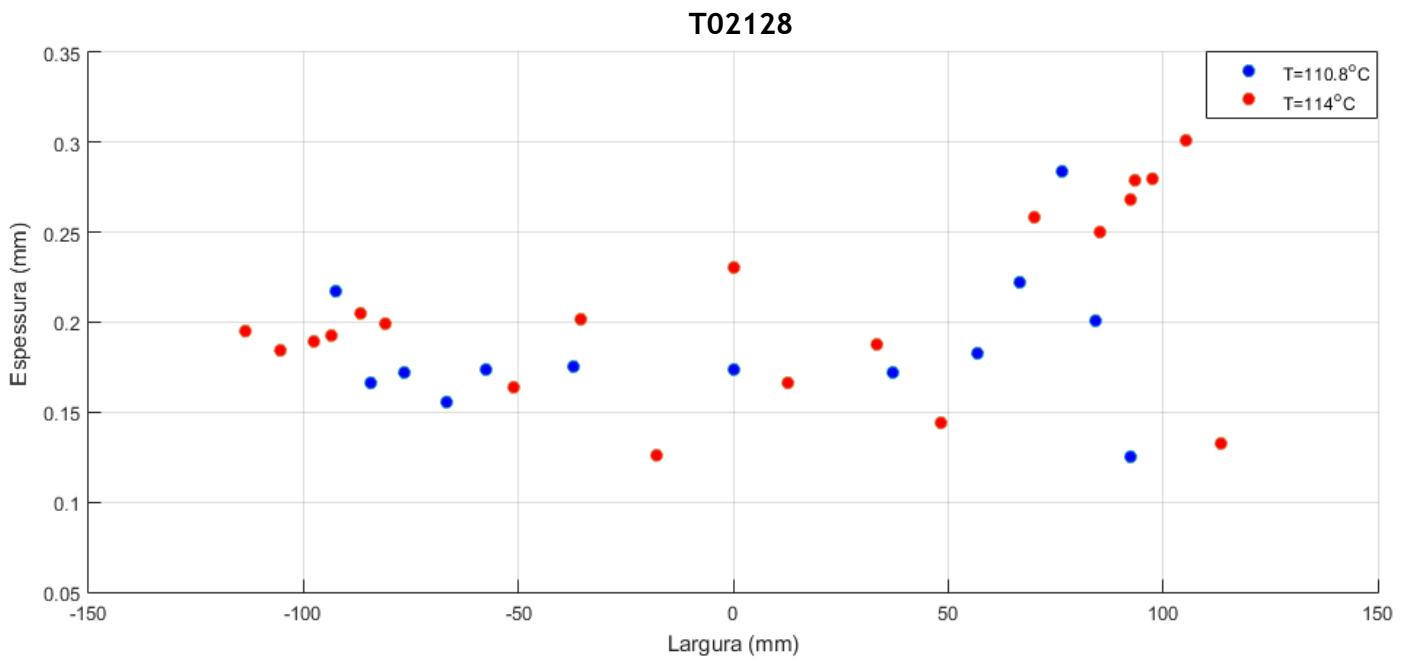
Anexo F

T14716



T25045





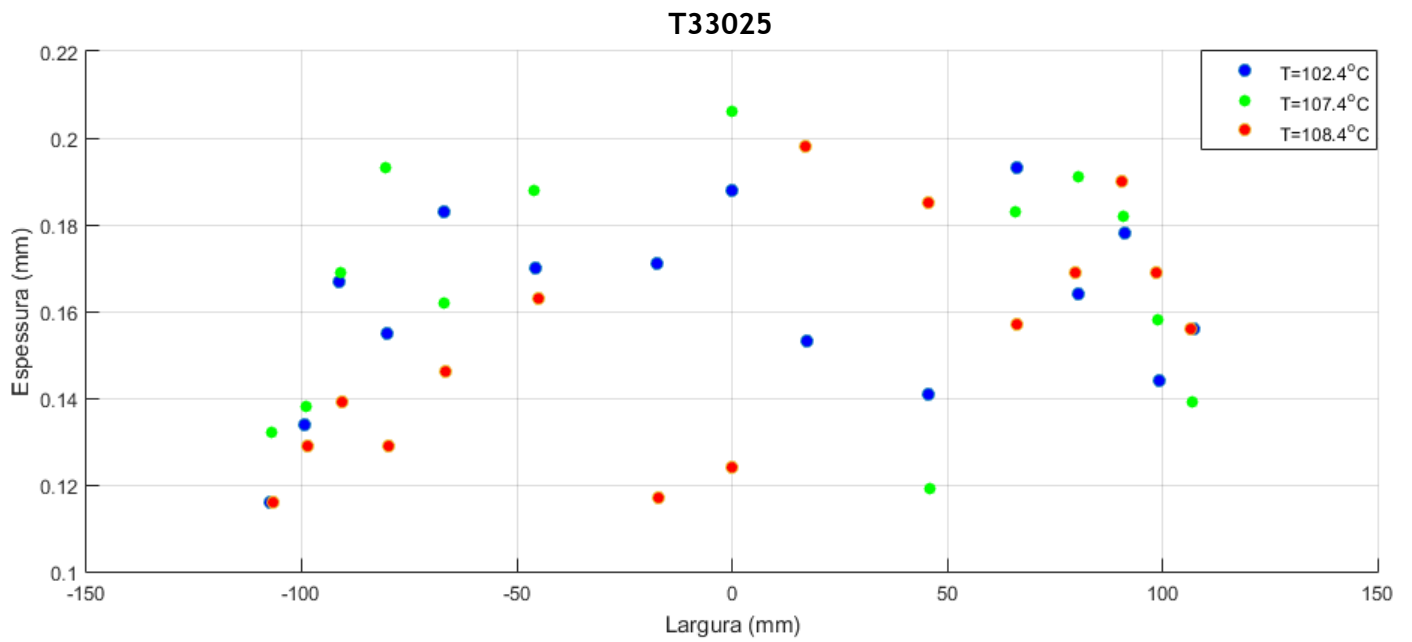


Figura F.1-Distribuição de espessuras a diferentes temperaturas para cada composto.

Anexo G

G.1. Regressões lineares utilizadas para relacionar a variação de largura total e de espessura com a variação de velocidade.

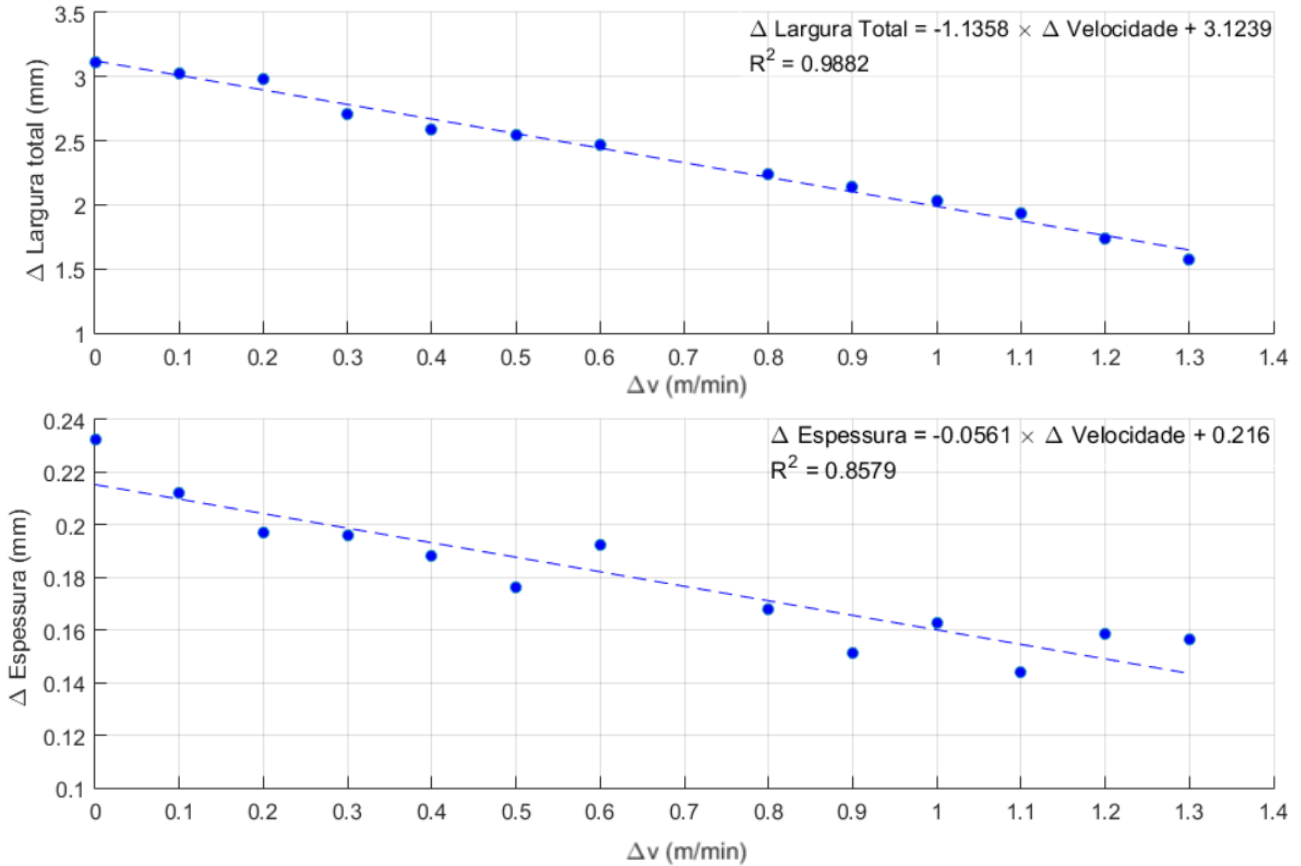
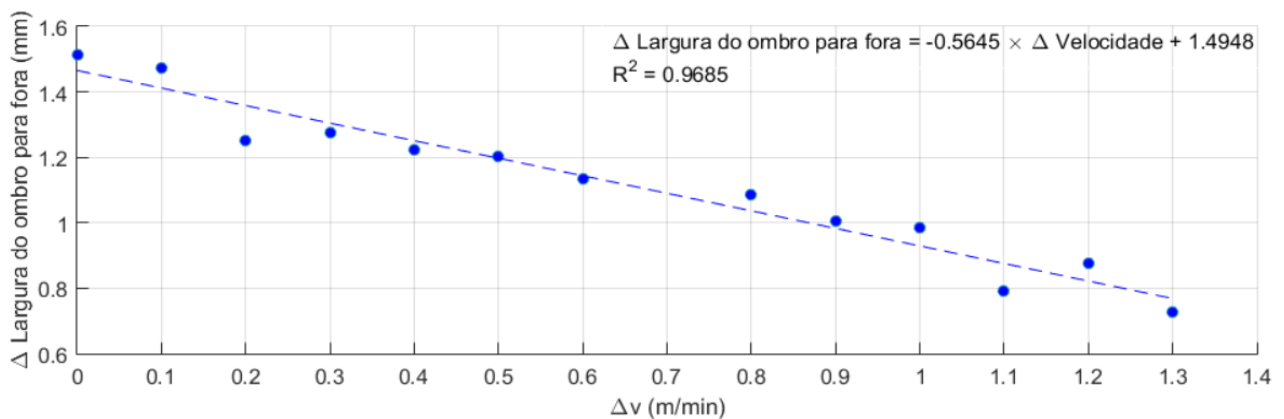


Figura G.1.1-Ajuste linear para a variação da largura total (em cima) e de espessuras em função da variação de velocidade (em baixo).

G.2. Regressões lineares utilizadas para as diferentes regiões do piso em termos de largura em função da variação de velocidade.



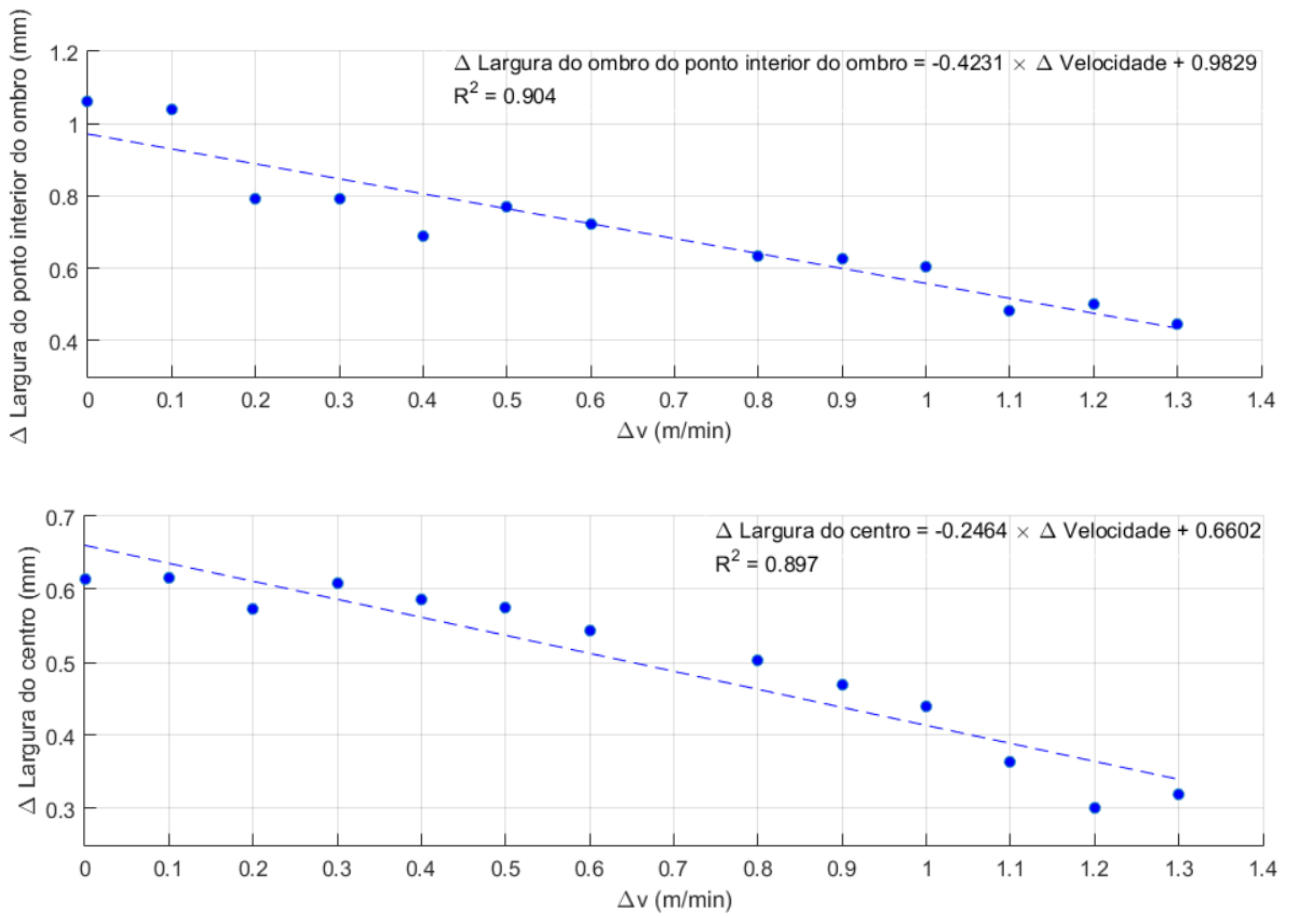


Figura G.2.1-Regressões utilizadas para as diferentes regiões do piso: “ombro para fora” (em cima), “ponto interior do ombro” (a meio) e “centro” (em baixo) em função da variação de velocidade.

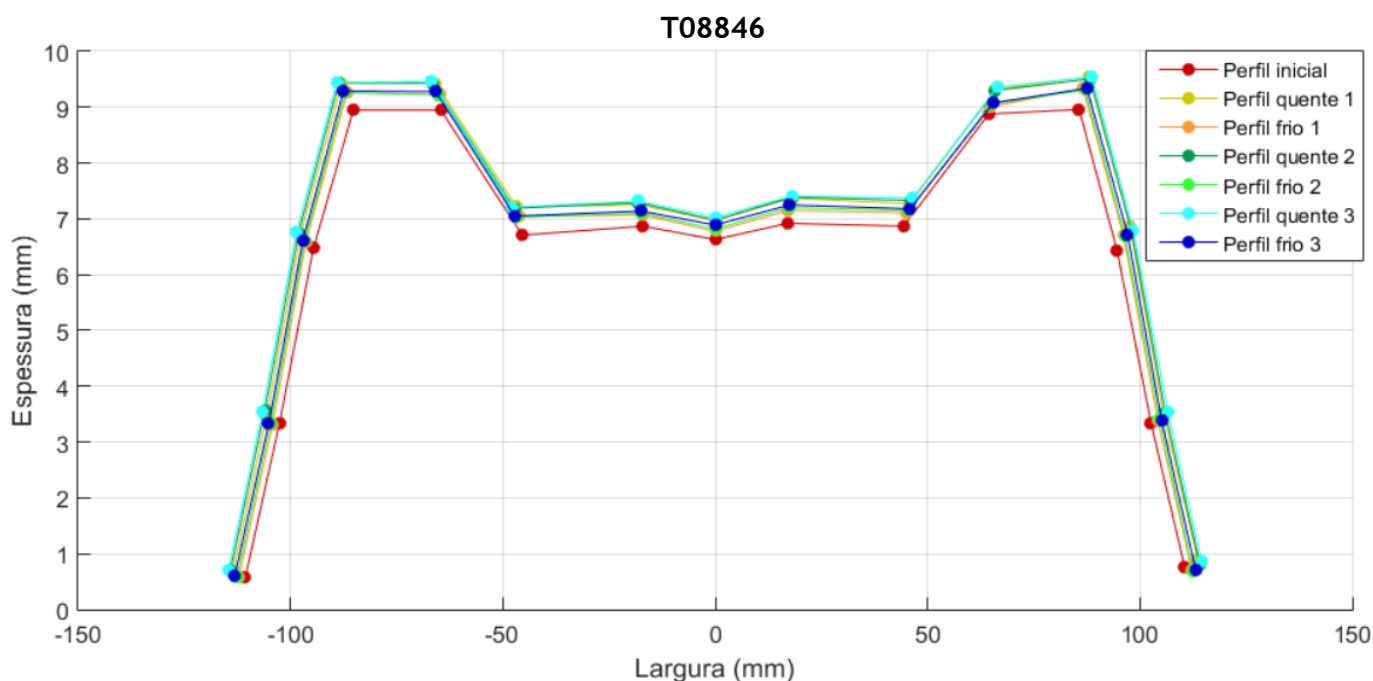
Anexo H

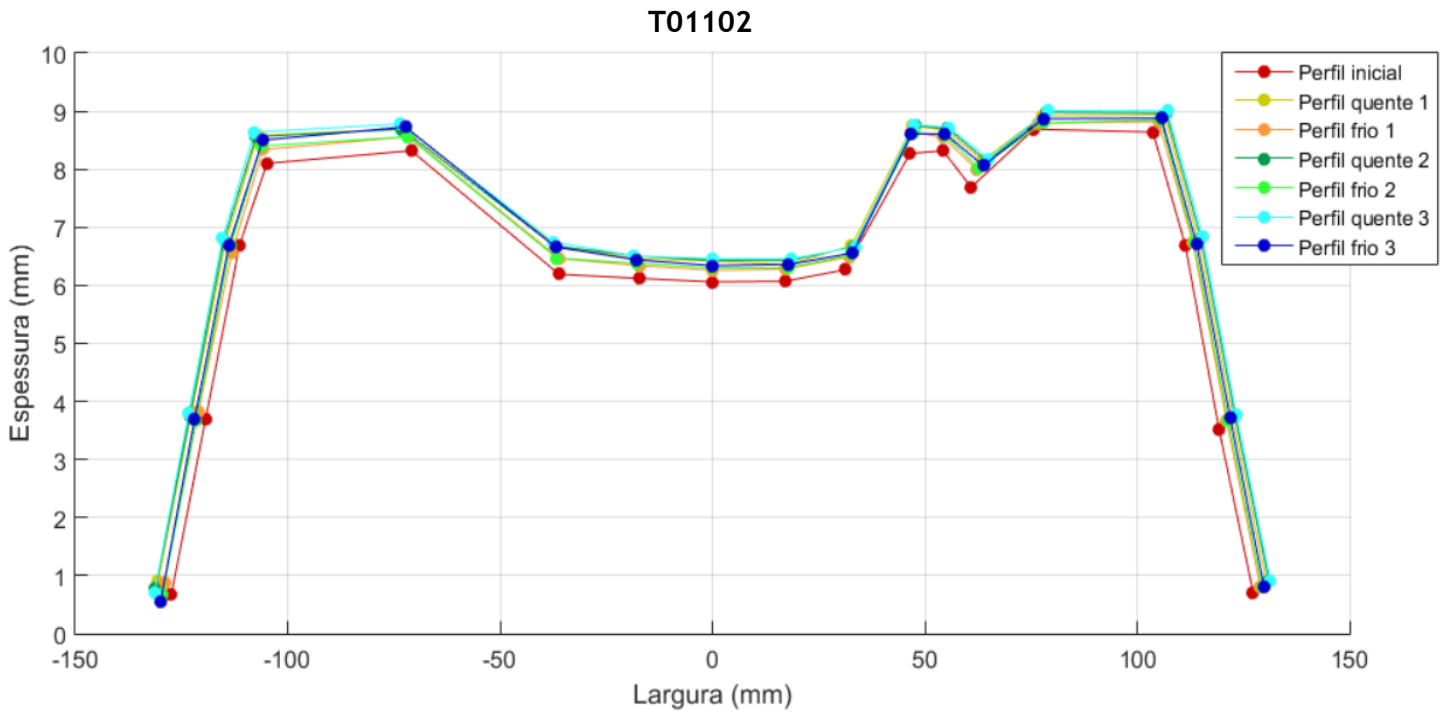
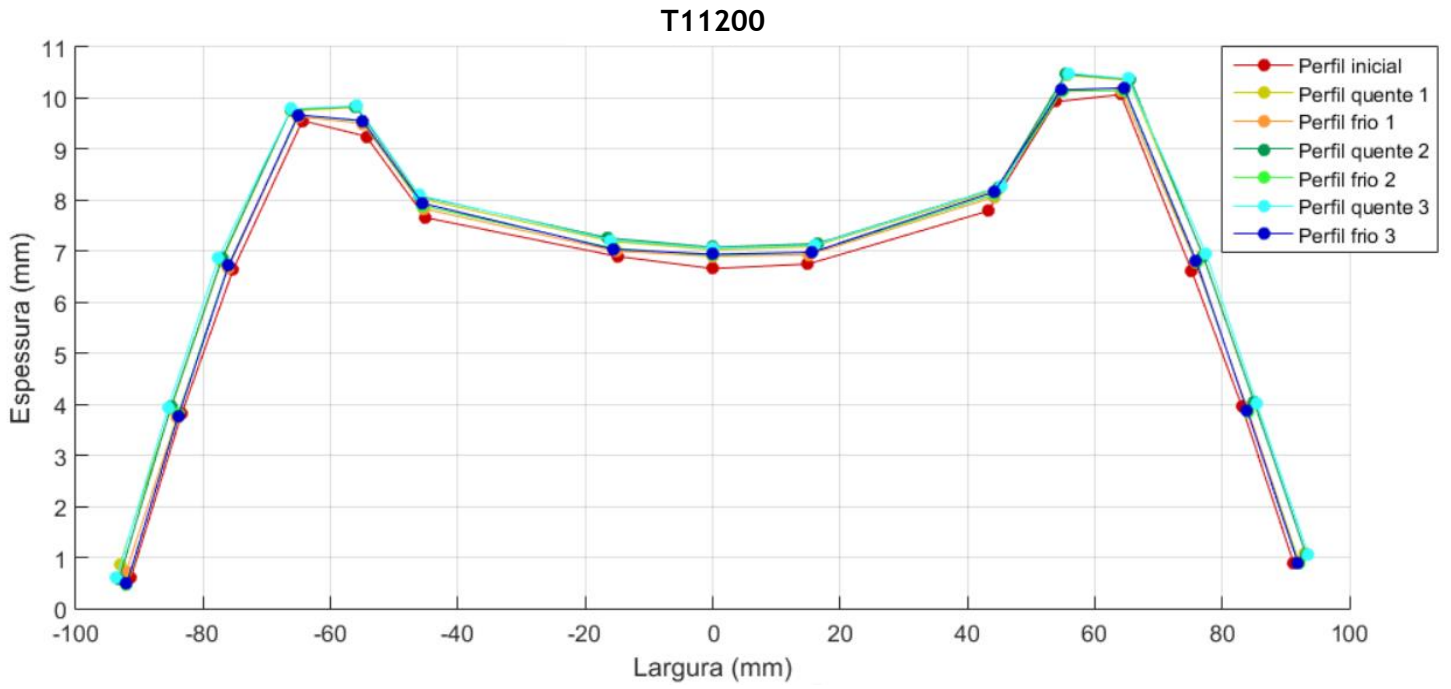
Os pisos são constituídos por compostos de borracha com uma natureza viscoelástica, e durante o processo de extrusão são sujeitos a elevadas temperaturas, da ordem dos 120/130 °C, de forma a serem transformados num estado pastoso passível de serem moldados através do perfil da fieira. Uma vez extrudidos, são sujeitos a um abaixamento de temperatura no sistema de arrefecimento, de modo a que no final da linha de extrusão o piso esteja a 25 °C, o que significa que desde que o material é alimentado na tremonha até se obter o piso final à temperatura desejada passa por uma história térmica bastante complicada. Este arrefecimento é feito num curto período de tempo, à volta dos 5 min, pelo que poderão estar a ser induzidas tensões térmicas no material. Em contrapartida, pelo facto de o material estar sujeito a forças externas poderão estar a ser inculcidas tensões mecânicas. Estas tensões térmicas e mecânicas que o material poderá sofrer são tensões que o material não consegue aliviar durante o processo de extrusão devido à sua natureza viscoelástica, e são denominadas por tensões residuais.

Assim, através deste estudo espera-se compreender este fenómeno, assim como saber se tendo em conta uma extrusão relaxada, será suficiente para o material aliviar estas tensões na linha de extrusão.

Foram escolhidas amostras de piso constituídas por compostos de natureza distintas provenientes de uma extrusão relaxada, e analisado o seu comportamento.

De seguida são apresentados os resultados experimentais obtidos através desta experiência.





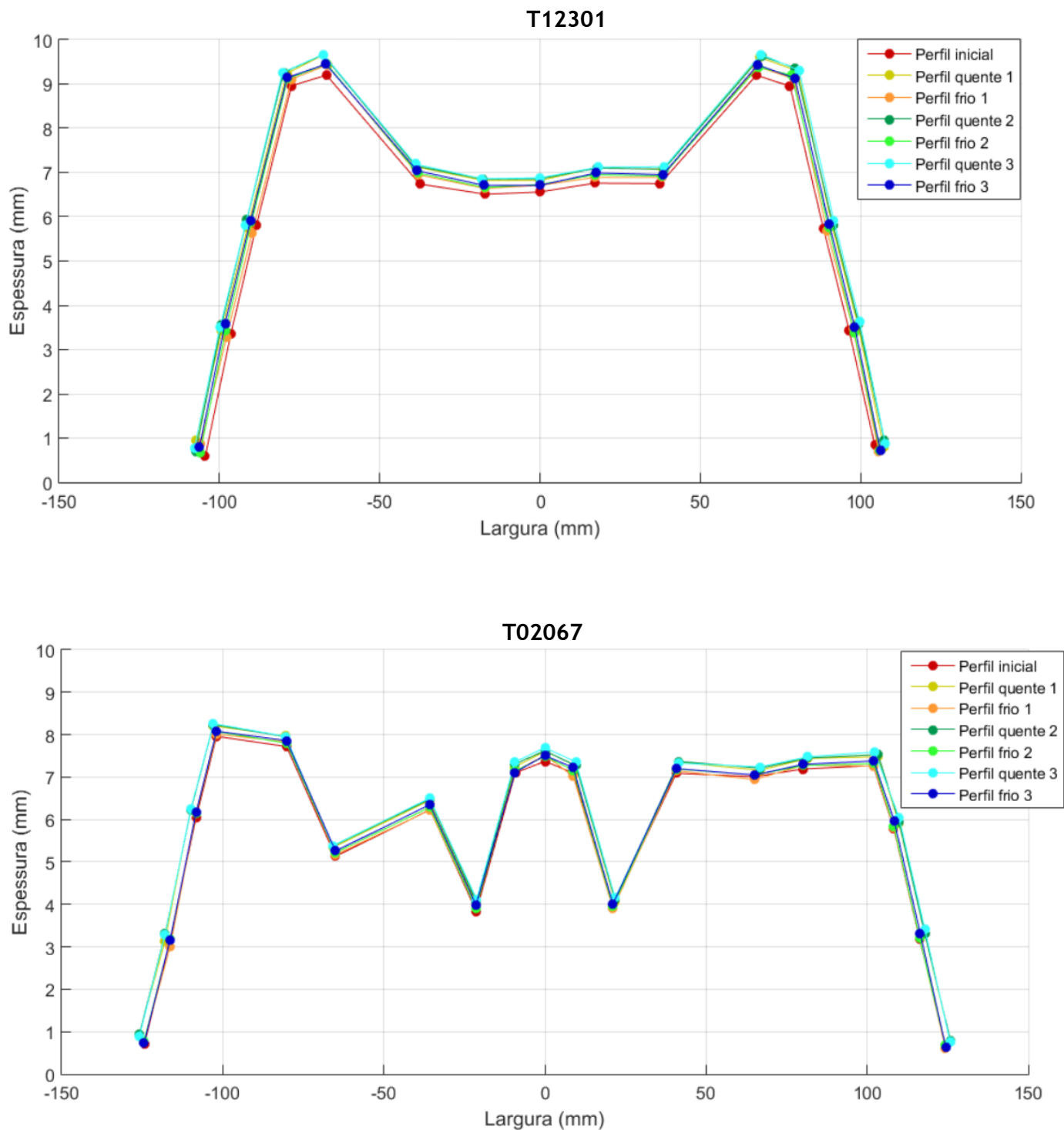


Figura H.1-Perfis obtidos após aquecimento/arrefecimento.

Anexo I

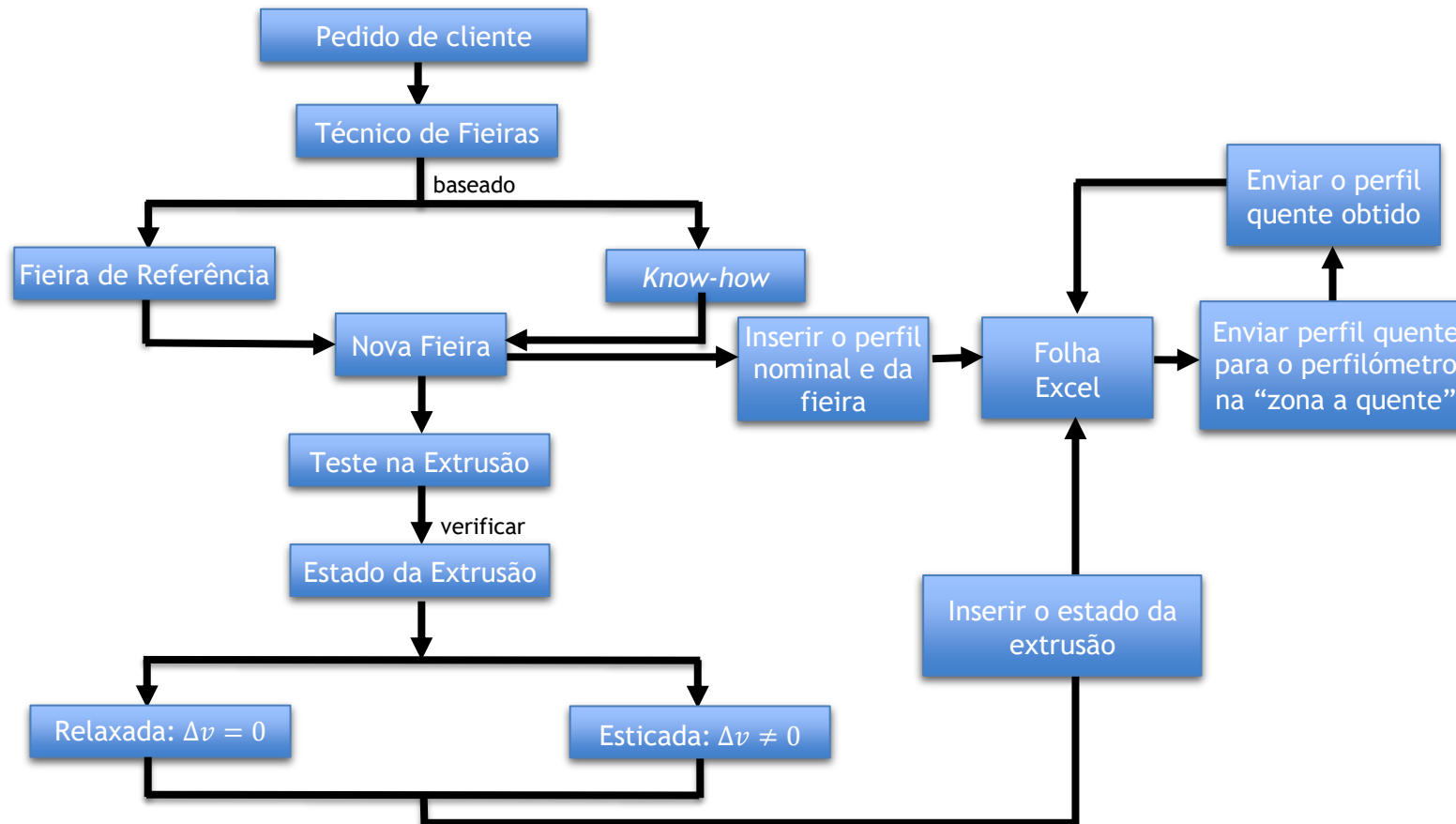


Figura I.1-Implementação da correlação desenvolvida.

Anexo J

A ferramenta desenvolvida em *Excel - Hot Inline Adjustment* - está apresentada na figura J.1.

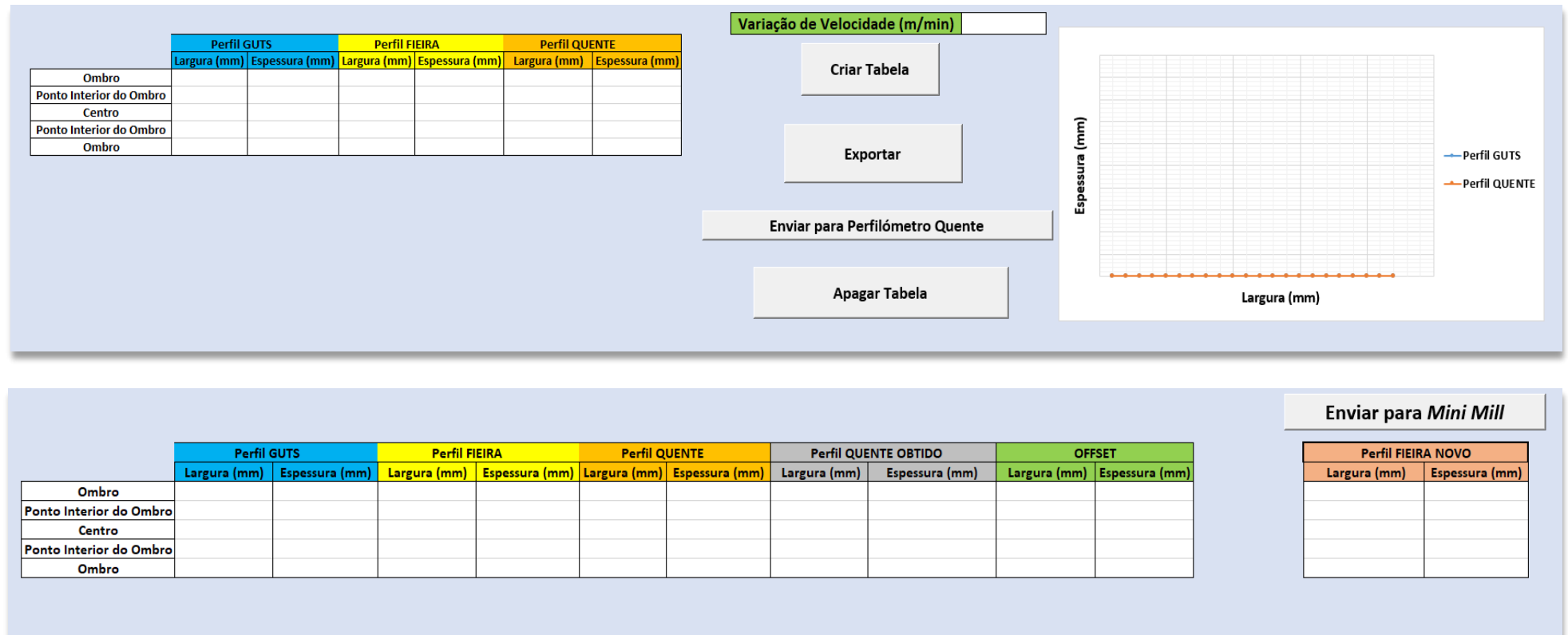


Figura J.1-Ferramenta Hot Inline Adjustment.

Anexo K

K.1. Processo de abertura da fieira “25780”

O perfil nominal pretendido pelo cliente - GUTS - encontra-se representado na figura K.1.1.

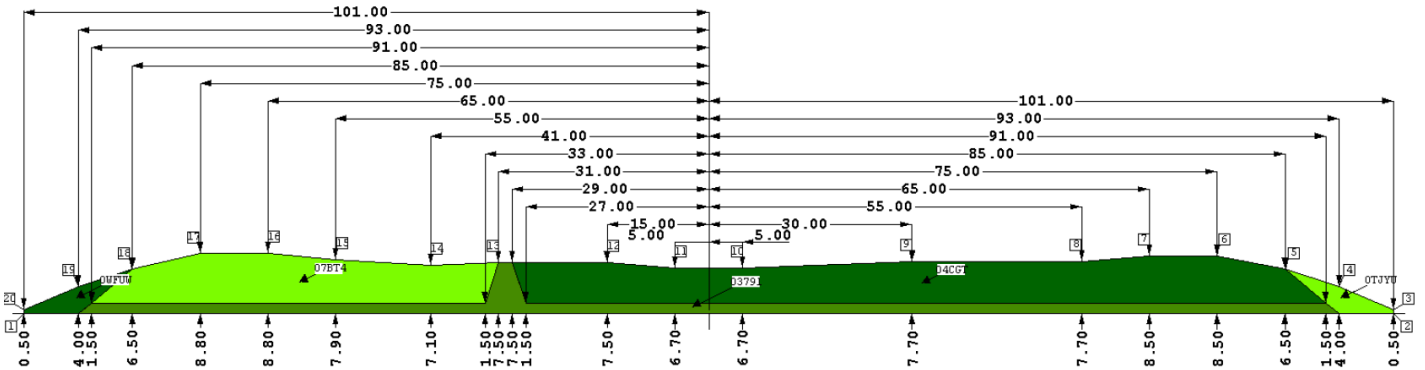


Figura K.1.1-Perfil GUTS da fieira “25780”.

Após determinação do perfil da fieira e corte da fieira na *CNC Milling Machine*, realizou-se o 1º teste na linha de extrusão. Verificada uma variação de velocidade igual a 1 m/min, o perfil quente nominal foi inserido no perfilômetro quente e visualizou-se qual o perfil quente obtido, evidente na figura K.1.2 - a linha azul corresponde ao perfil quente nominal e a linha verde representa o perfil quente obtido.

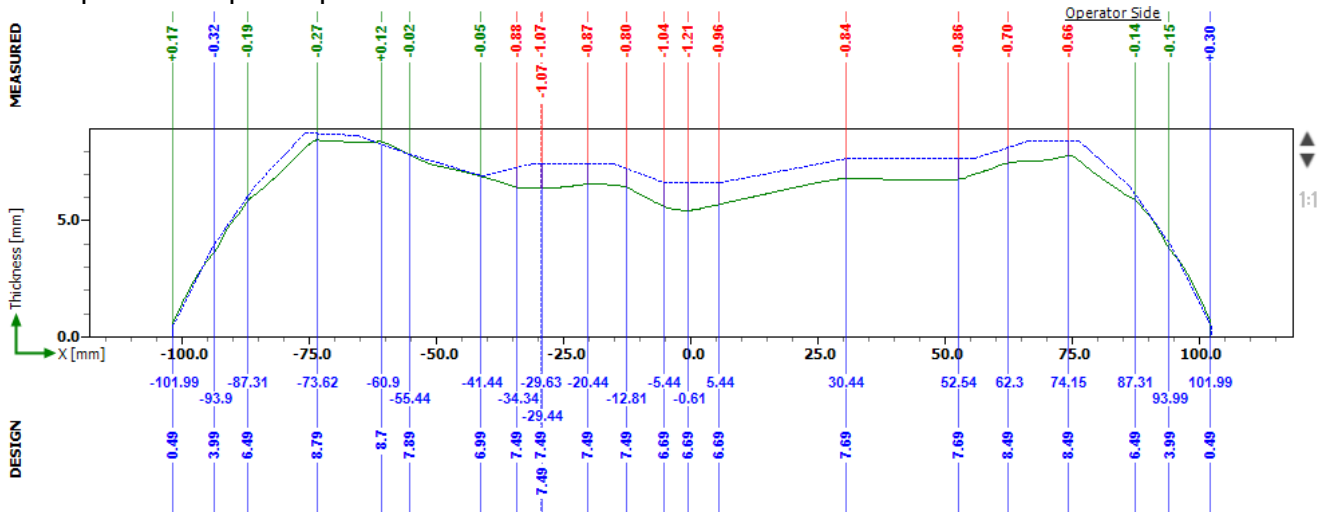


Figura K.1.2-1º teste da fieira “25780” na linha de extrusão.

Uma vez que este perfil se encontrava fora das tolerâncias admitidas em termos de espessura - visível através dos valores assinalados a vermelho na região superior do perfil da figura K.1.2 - e alguns pontos ainda se encontravam mal posicionados em termos de largura quando comparado com o nominal, extraiu-se este perfil obtido, e a ferramenta calculou automaticamente o ajuste necessário para a fieira. Após ajuste na *CNC*, realizou-se novamente um teste na linha de extrusão, que se encontra apresentado na figura K.1.3.

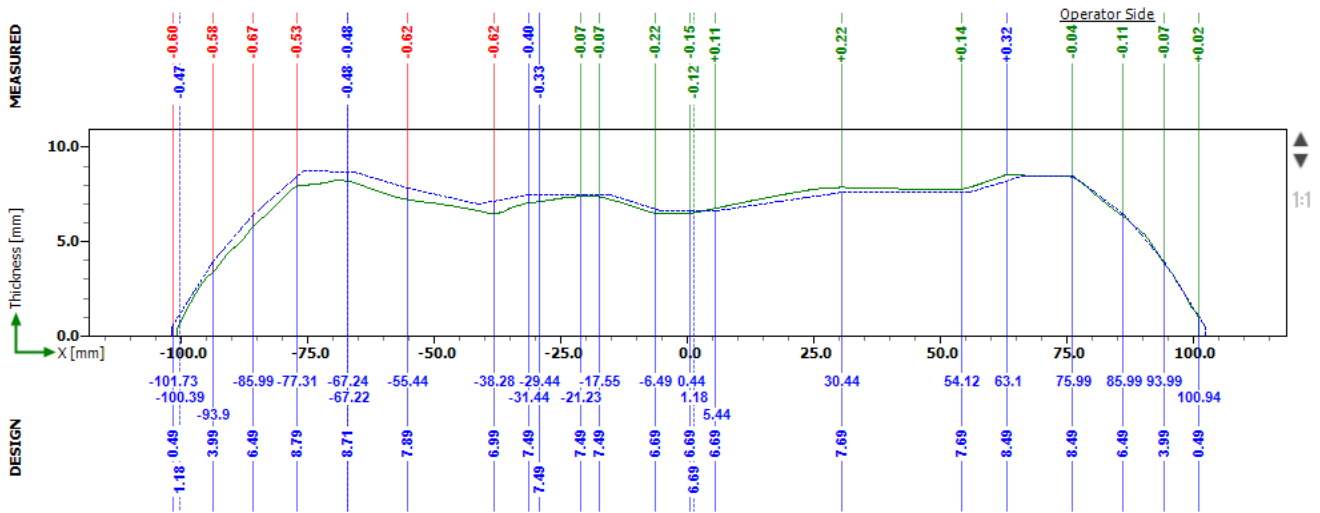


Figura K.1.3-2º teste da fieira “25780” na linha de extrusão.

Uma vez que região do lado esquerdo do piso representada na figura K.1.3 ainda se encontra fora das tolerâncias admitidas, será necessário um novo ajuste na fieira seguindo o procedimento descrito anteriormente, encontrando-se o novo perfil de piso na figura K.1.4.

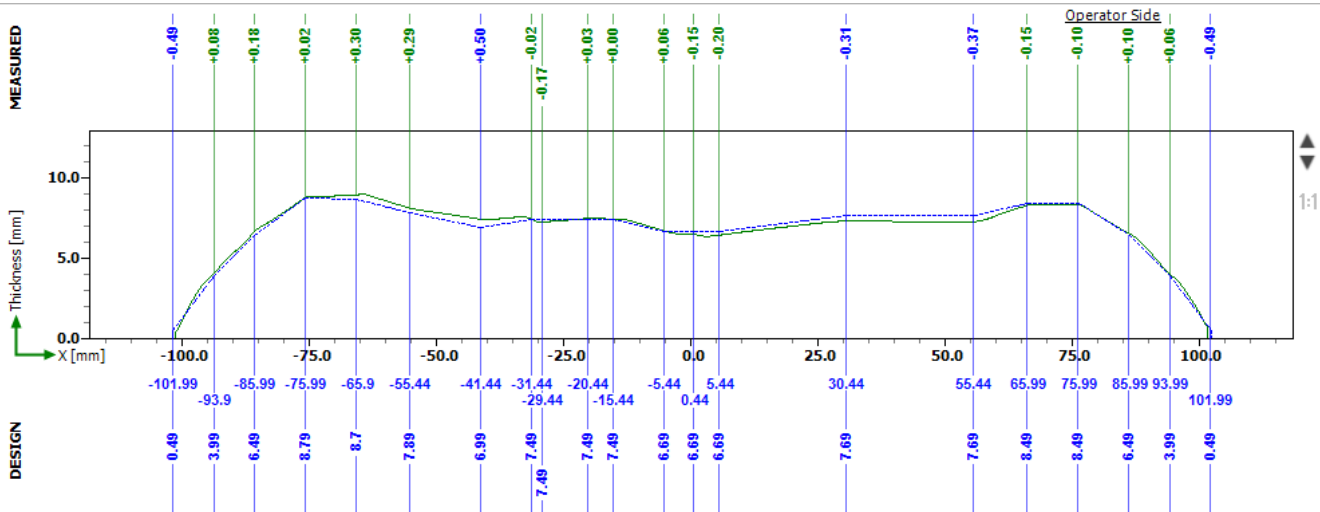


Figura K.1.4-3º teste da fieira “25780” na linha de extrusão.

Verifica-se que o perfil quente obtido se encontra dentro das tolerâncias admitidas quando comparado com o perfil quente nominal. No entanto, para validar estes resultados obtidos cortou-se e mediu-se, no perfilômetro *offline*, o perfil de uma secção de piso obtida no final da linha de extrusão aquando da realização deste teste, de forma a ser verificada a concordância com o perfil nominal desejado pelo cliente, encontrando-se representado na figura K.1.5.

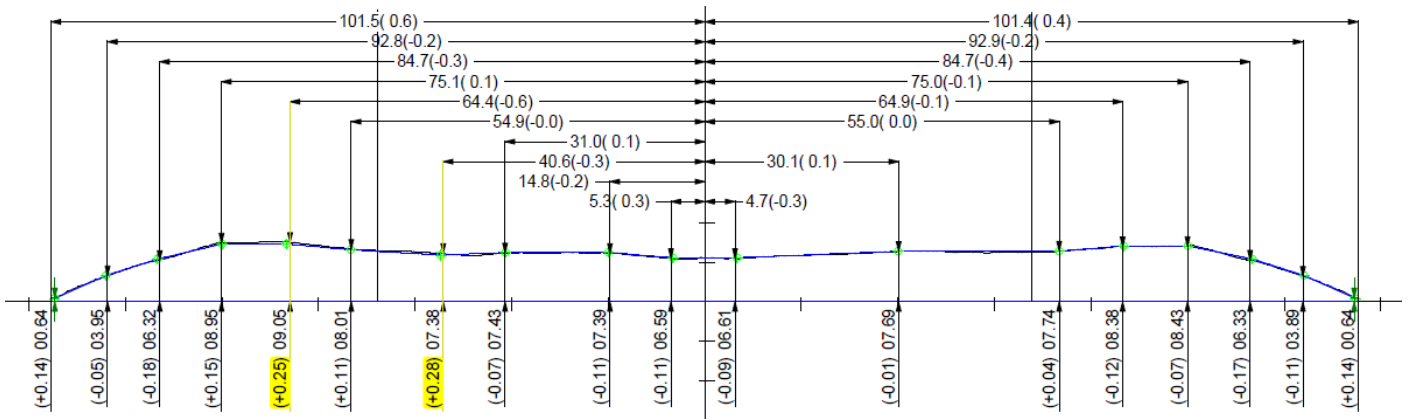


Figura K.1.5-Comparação do perfil frio obtido no 3º teste da fieira na linha de extrusão com o perfil GUTS da fieira “25780”.

Verifica-se que o perfil frio obtido no 3º teste da linha de extrusão é muito idêntico ao perfil GUTS - está dentro da tolerância admitida -, o que nos indica que a fieira está pronta para “entrar” em produção.

K.2. Processo de abertura da fieira “25789”

O perfil GUTS encontra-se apresentado na figura K.2.1.

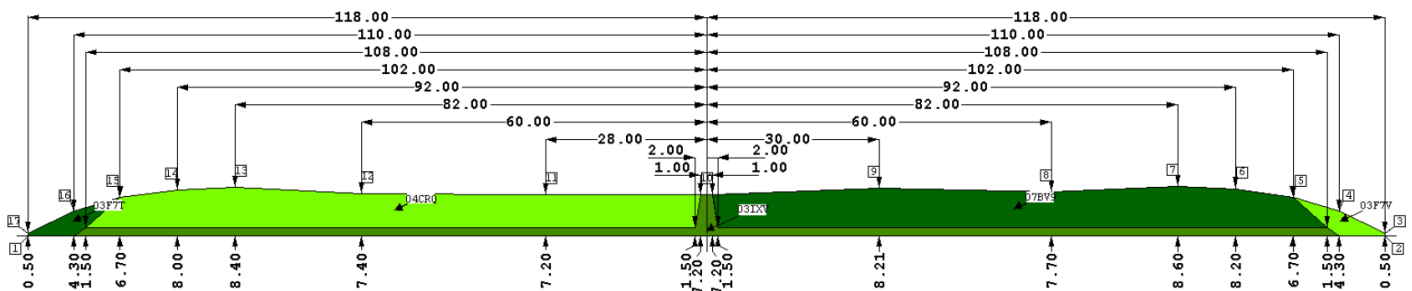


Figura K.2.1-Perfil GUTS da fieira “25789”.

Dimensionado o perfil da fieira, o 1º teste na linha de extrusão foi realizado e encontra-se apresentado na figura K.2.2, tendo-se verificado uma variação de velocidade igual a 0 m/min.

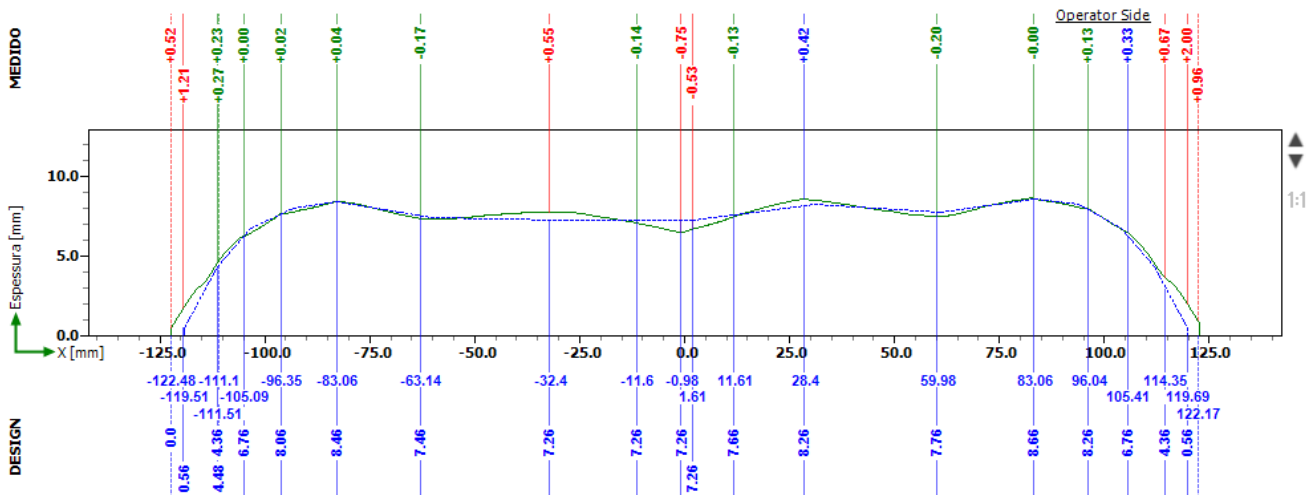


Figura K.2.2-1º teste da fieira “25789” na linha de extrusão.

Verifica-se que em termos de largura total, o perfil quente obtido apresenta um desvio de 6 mm em relação ao perfil quente nominal. Em termos de espessura, alguns pontos encontram-se fora da tolerância admitida pelo que será necessário efetuar um ajuste à fieira.

Feito este ajuste, procede-se à realização do 2º teste na linha de extrusão, apresentado na figura K.2.3.

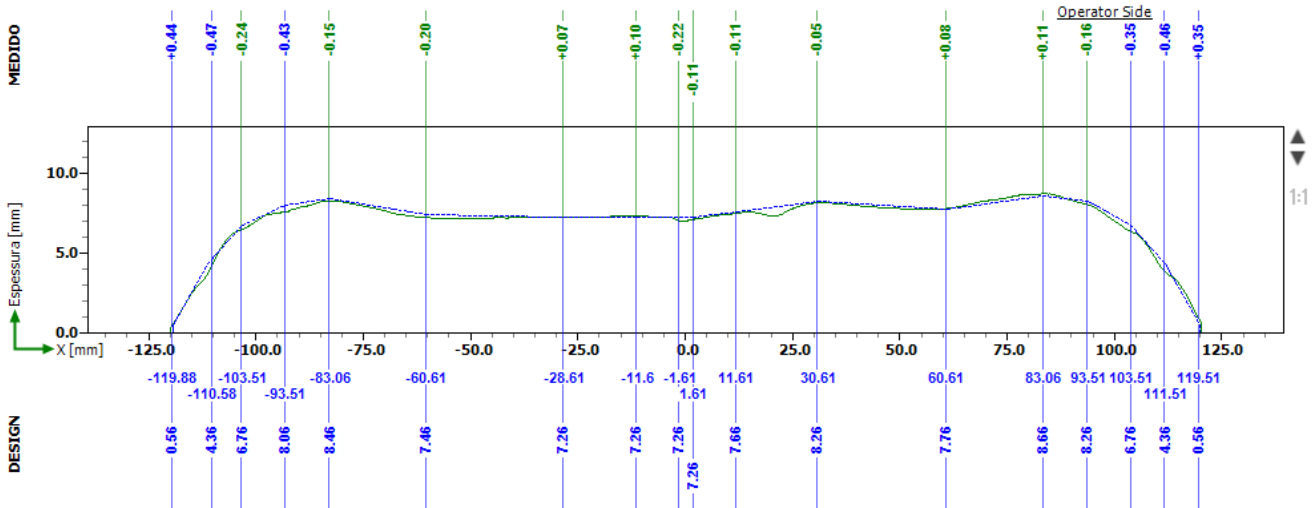


Figura K.2.3-2º teste da fieira “25789” na linha de extrusão.

Em termos de perfis quentes, verifica-se que todos os pontos estão dentro da tolerância admitida tanto em termos de largura como de espessura.

Falta agora verificar se o perfil frio está concordante com o perfil GUTS, encontrando-se evidenciado na figura K.2.4.

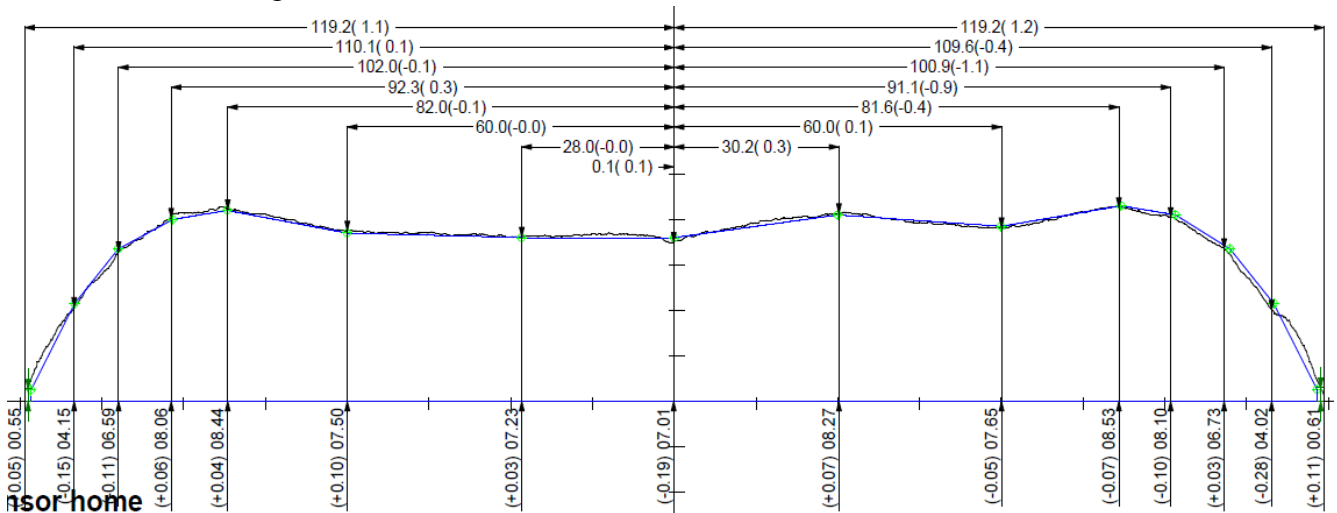


Figura K.2.4-Comparação do perfil frio obtido no 2º teste da fieira na linha de extrusão com o perfil GUTS da fieira “25789”.

Verifica-se que o perfil obtido no 2º teste da fieira na linha de extrusão se encontra dentro das tolerâncias admitidas, o que nos indica que a fieira não necessita de um ajuste adicional e que está pronta, ao fim da 2ª amostra, para produzir pisos.

Anexo L

De forma a ser calculado qual o retorno financeiro obtido através da implementação deste método, é necessário ter em conta os fatores que influenciam o custo do processo, estando apresentados na tabela L.1.

Tabela L.1- Condições processo antigo vs novo.

	Processo antigo	Processo novo
Tempo de uso de máquina	1,5 h	0,75 h
<i>Workoff</i> gerado	1200 kg	600 kg
Número de retificações	6	3

O custo global de uma fieira é calculado do seguinte modo:

$$\text{custo (€)/fieira} = \text{custo extrusão/fieira} + \text{custo mistura/fieira} + \text{custo retificação/fieira} \quad (\text{L.1})$$

Sendo que, o custo de extrusão e de mistura contempla os custos associados ao tempo de ocupação da máquina e de mão-de-obra e o custo de retificação engloba todos os custos associados à alteração do perfil da fieira - custos energéticos e mão-de-obra. É de notar que os custos não aparecem discriminados uma vez que se trata de uma informação interna da empresa.

De acordo com o processo antigo, o custo por fieira é igual a **1000 €**. Sabendo que por ano são abertas em média 500 fieiras, e que com o processo novo todos os gastos serão reduzidos para metade, então o custo por fieira será de **500 €**. Assim, podemos calcular com facilidade qual será o retorno financeiro e quanto *workoff* conseguiremos reduzir, de acordo com as seguintes equações:

$$\text{Poupança anual} = \text{custo (€)/fieira} * N^{\circ} \text{ de fieiras/ano} = 250\,000 \text{ €} \quad (\text{L.2})$$

$$\text{Workoff} = \text{Workoff (kg)/fieira} * N^{\circ} \text{ de fieiras/ano} = 300\,000 \text{ kg} \quad (\text{L.3})$$

Em suma, pode-se concluir que a implementação desta metodologia irá refletir uma poupança anual de **250 000 €** e em termos de *workoff*, uma redução de **300 000 kg**.