

Universidade do Minho
Escola de Ciências

Eva Isabel Costa Pereira

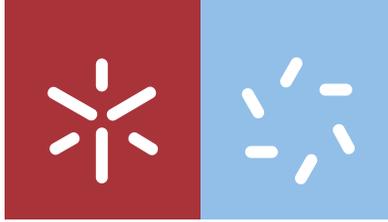
**Gestão de Sistemas de Qualidade na
indústria automóvel**

**Gestão de Sistemas de Qualidade na
indústria automóvel**

Eva Pereira

UMinho | 2021

julho de 2021



Universidade do Minho
Escola de Ciências

Eva Isabel Costa Pereira

**Gestão de Sistemas de Qualidade na
indústria automóvel**

Dissertação de Mestrado
Mestrado em Técnicas de Caracterização e Análise Química

Trabalho efetuado sob a orientação da
Professora Doutora Gabriela Botelho
Doutora Catarina Domingues

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.

Licença concedida aos utilizadores deste trabalho



Atribuição-NãoComercial-SemDerivações
CC BY-NC-ND

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Agradecimentos

Primeiramente, quero agradecer ao Dr. Pedro Silva, diretor de recursos humanos, assim como à Tânia Cerqueira, responsável da qualidade, por me terem possibilitado o desenvolvimento da minha dissertação de mestrado, na empresa Safe Life. Muito obrigada, por me terem dado essa oportunidade de novo, senti-me em “casa”, mais uma vez.

De seguida, quero agradecer à minha orientadora da empresa, Catarina Domingues, pelo acompanhamento que me foi prestando ao longo do desenvolvimento da minha tese na empresa e por se encontrar sempre pronta e disponível a ajudar. Também um agradecimento gigante e não menos importante, à Carina Duarte, responsável do laboratório, que foi uma ajuda essencial e crucial para o desenvolvimento do meu projeto.

De uma forma geral, um agradecimento a toda a equipa ZF, com os quais trabalhei. Muito obrigada por me terem recebido tão bem e por serem todos tão prestáveis. Às técnicas de laboratório, Elisa, Mafalda, Sol e Isabel com quem também passei parte do tempo, à Susete e ao Nelson, auditores de qualidade, com quem também aprendi muito. Muito, muito obrigada, a todos!

À minha orientadora da Universidade do Minho, professora doutora Gabriela Botelho, agradeço também por toda a sua disponibilidade em me ajudar e acompanhamento, ao longo da elaboração do estágio curricular.

Obrigada, à professora doutora Ana Paula Bettencourt, da Universidade do Minho, por também se ter mostrado sempre pronta a me ajudar e ter esclarecido as dúvidas que lhe foi colocando. Obrigada por todo o seu apoio!

Por fim, e não menos importante, um agradecimento enorme para as pessoas mais importantes da minha vida e que me acompanharam mais de perto, em todos os momentos bons, mas também nos momentos de maior dificuldade: à minha família, namorado e amigos, o meu muito, muito obrigada! Nunca terei palavras, que consigam expressar o quanto agradecida e sortuda sou por vos ter a vocês na minha vida.

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

Título

Gestão de Sistemas de Qualidade na indústria automóvel

Resumo

Este relatório de estágio curricular que irá ser apresentado, foi desenvolvido no âmbito da dissertação de mestrado, relativa ao curso de técnicas de caracterização e análise química, na empresa *Safe Life* – Indústria de componentes de segurança automóvel S.A.

O desenvolvimento do presente trabalho, englobou o conhecimento de conceitos relacionados com o controlo de qualidade no setor automóvel, procedimentos realizados no controlo de qualidade ao produto, bem como a validação dos métodos aplicados nas análises de rotina.

Há uma parte que aborda o enquadramento teórico, relativo ao produto final, o *airbag*, produzido na empresa na qual se desenvolveu o presente trabalho, em que abrange determinados temas, tais como a evolução, as matérias-primas e a fabricação do *airbag*.

A outra parte do trabalho, corresponde à indicação dos procedimentos realizados nos ensaios aplicados no controlo de qualidade em análises de rotina, bem como a validação de alguns desses métodos de ensaio.

Com base nos resultados obtidos, foi possível concluir que para as amostras analisadas, os resultados encontram-se de acordo com os critérios internos estabelecidos pelo laboratório.

Palavras-chave

qualidade, automóvel, *airbag*, indústria

Title

Quality Systems Management in the automotive industry

Abstract

This curricular internship report, which will be presented, was developed within the scope of the master's thesis, relating to the course in chemical characterization and analysis techniques, at the company Safe Life – Industry of automotive components and safety S.A.

The development of this work encompassed the knowledge of concepts related to quality control in the automotive sector, procedures performed in product quality control, as well as the validation of the methods applied in routine analysis.

There is a part that addresses the theoretical framework, related to the final product, the airbag, produced in the company in which this work was developed, which covers certain topics, such as evolution, raw materials and the manufacture of the airbag.

The other part of the work corresponds to the indication of the procedures performed in the tests applied in quality control in routine analysis, as well as the validation of some of these test methods.

Based on the results obtained, it was possible to conclude that for the analyzed samples, the results are in accordance with the internal criteria established by the laboratory.

Keywords

quality, automobile, airbag, industry

Índice

| | | |
|--------|---|----|
| 1. | Introdução | 1 |
| 1.1. | Apresentação da empresa | 1 |
| 1.2. | <i>Airbag</i> | 2 |
| 1.2.1. | História do <i>airbag</i> | 2 |
| 1.2.2. | Conceitos e definições | 4 |
| 1.2.3. | Matérias-primas englobadas na produção do saco módulo <i>airbag</i> | 6 |
| 1.2.4. | Processo de fabricação do <i>airbag</i> | 9 |
| 1.2.5. | Química do <i>airbag</i> | 10 |
| 1.2.6. | Sistema de gestão de qualidade na indústria automóvel | 11 |
| 1.3. | Controlo de qualidade | 13 |
| 1.3.1. | Saco do módulo <i>airbag</i> | 13 |
| 1.3.2. | Tecido revestido utilizado no <i>airbag</i> | 13 |
| 1.4. | Validação de métodos analíticos | 14 |
| 1.4.1. | Repetibilidade e precisão intermédia | 14 |
| 1.4.2. | Robustez | 15 |
| 1.4.3. | Incertezas associadas | 17 |
| 1.4.4. | Cartas de controlo de médias ou indivíduos..... | 17 |
| 2. | Parte Experimental..... | 19 |
| 2.1. | Amostragem | 19 |
| 2.2. | Equipamentos | 19 |
| 2.3. | Procedimentos Experimentais..... | 20 |
| 2.3.1. | Tração e alongamento | 20 |
| 2.3.2. | Inflamabilidade | 21 |
| 2.3.3. | Densidade Linear..... | 23 |
| 2.3.4. | Resistência ao <i>edgcomb</i> | 23 |

| | | |
|--------|--|----|
| 2.3.5. | Peso total | 24 |
| 2.3.6. | Resistência à abrasão | 25 |
| 2.3.7. | Força de rasgo..... | 26 |
| 2.3.8. | Rigidez | 27 |
| 3. | Apresentação e discussão de resultados..... | 29 |
| 3.1. | Análises diárias de controlo de qualidade..... | 29 |
| 3.1.1. | Tração e alongamento | 29 |
| 3.1.2. | Inflamabilidade | 32 |
| 3.1.3. | Densidade Linear..... | 34 |
| 3.1.4. | Resistência ao <i>edgcomb</i> | 36 |
| 3.1.5. | Peso total | 38 |
| 3.1.6. | Força de rasgo..... | 38 |
| 3.1.7. | Rigidez | 40 |
| 3.2. | Validação de métodos analíticos | 41 |
| 3.2.1. | Densidade linear..... | 41 |
| 3.2.2. | Peso total | 43 |
| 3.3. | Estudo de caso..... | 43 |
| 3.3.1. | Densidade linear – comparação entre a medição da densidade no provete e diretamente no tecido revestido..... | 43 |
| 3.3.2. | Peso total – comparação entre a medição do peso no provete retirado na margem ou no centro do tecido | 44 |
| 3.4. | Validação do processo de recobrimento do tecido base..... | 44 |
| 4. | Conclusões..... | 46 |
| 5. | Bibliografia..... | 48 |
| | Anexos | 50 |

Abreviaturas, Siglas e Símbolos

| | |
|-----------------|---|
| ACRS | <i>Air Cushion Restraint System</i> |
| ASTM | <i>American Society for Testing and Materials</i> |
| CV _I | Coefficiente de Variação de Precisão Intermédia |
| CV _R | Coefficiente de Variação de Repetibilidade |
| FMVSS | <i>Federal Motor Vehicle Safety Standards</i> |
| IATF | <i>International Automotive Task Force</i> |
| ISO | <i>International Organization for Standardization</i> |
| LCL | <i>Lower Control Limit</i> |
| MQ | Quadrado Médio |
| MRC | Material de Referência Certificado |
| PA | Poliamida |
| PET | Polietileno Tereftalato |
| R | Fator |
| RE _i | Resultado Experimental |
| s | Desvio Padrão Global |
| s ² | Variância |
| SGQ | Sistema de Gestão de Qualidade |
| S _I | Desvio Padrão de Precisão Intermédia |
| S _R | Desvio Padrão de Repetibilidade |
| t | Parâmetro t student |
| Tg | Temperatura de Transição Vítrea |
| UCL | <i>Upper Control Limit</i> |
| \bar{x} | Média |

Lista de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1: Representação do sistema de airbag antes e após a colisão. [4] | 4 |
| Figura 2: Reação de policondensação entre um ácido dicarboxílico e um diol. | 6 |
| Figura 3: Polietileno tereftalato (PET). | 6 |
| Figura 4: Arranjos de ligação amida em poliamidas AB e AABB. | 7 |
| Figura 5: Policaprolactama (PA 6). | 7 |
| Figura 6: Polihexametileno adipamida (PA 6.6). | 7 |
| Figura 7: Design experimental Plackett-Burman..... | 16 |
| Figura 8: a) Provete antes de ser submetido ao ensaio. b) Provete após ter sido exposto ao ensaio. | 21 |
| Figura 9: Esquema representativo do provete a ser submetido ao ensaio de inflamabilidade. | 21 |
| Figura 10: a) Provete a ser inserido no suporte da câmara de inflamabilidade. b) Suporte a ser colocado no interior da câmara de inflamabilidade e ativação da chama..... | 22 |
| Figura 11: a) Execução do ensaio de inflamabilidade. b) Registo da distância queimada e do tempo de queima. | 22 |
| Figura 12: Execução do ensaio da densidade linear..... | 23 |
| Figura 13: a) Acessório de edgecomb. b) Colocação do provete para execução do ensaio de edgecomb. | 24 |
| Figura 14: a) Colocação dos provetes no equipamento scrub. b) Realização do ensaio de resistência à abrasão..... | 25 |
| Figura 15: Corte do provete para efetuar o ensaio da força de rasgo..... | 26 |
| Figura 16: Colocação do provete na máquina de tração. | 27 |
| Figura 17: Vincar o provete para a realização do ensaio da rigidez..... | 28 |
| Figura 18: Colocação do provete no dinamómetro, para a posterior execução do ensaio. | 28 |
| Figura 19: Carta de controlo de médias ou indivíduos para o ensaio de tração, à teia. | 30 |
| Figura 20: Carta de controlo de médias ou indivíduos para o ensaio de tração, à trama. | 30 |
| Figura 21: Carta de controlo de médias ou indivíduos para o ensaio de alongamento, à teia. | 31 |
| Figura 22: Carta de controlo de médias ou indivíduos para o ensaio de alongamento, à trama. | 32 |
| Figura 23: Carta de controlo de médias ou indivíduos para o ensaio de inflamabilidade, à teia. | 33 |
| Figura 24: Carta de controlo de médias ou indivíduos para o ensaio de inflamabilidade, à trama. | 33 |
| Figura 25: Carta de controlo de médias ou indivíduos para o ensaio densidade linear, à teia.... | 34 |

| | |
|--|----|
| Figura 26: Carta de controlo de médias ou indivíduos para o ensaio de densidade linear, à trama. | 35 |
| Figura 27: Carta de controlo de médias ou indivíduos para o ensaio de resistência ao edgecomb, à teia. | 36 |
| Figura 28: Carta de controlo de médias ou indivíduos para o ensaio de resistência ao edgecomb, à trama. | 37 |
| Figura 29: Carta de controlo de médias ou indivíduos para o ensaio de peso total. | 38 |
| Figura 30: Carta de controlo de médias ou indivíduos para o ensaio de rasgo, à teia. | 39 |
| Figura 31: Carta de controlo de médias ou indivíduos para o ensaio de rasgo, à trama. | 39 |
| Figura 32: Carta de controlo de médias ou indivíduos para o ensaio de rigidez, à teia. | 40 |
| Figura 33: Carta de controlo de médias ou indivíduos para o ensaio de rigidez, à trama. | 41 |

Lista de Tabelas

| | |
|--|----|
| Tabela 1: Tipos de airbag e a sua funcionalidade. [2] | 4 |
| Tabela 2: Propriedades físicas das fibras mais utilizadas no tecido do saco do módulo airbag. [2] | 8 |
| Tabela 3: Características de um polissiloxano, utilizado no processo de revestimento do tecido. [2] | 10 |
| Tabela 4: Equipamentos e suas características. | 19 |
| Tabela 5: Resultados obtidos para a densidade linear, à teia, ao longo de 5 dias, para o estudo da precisão do método. A incerteza associada é ± 20 /dm. | 50 |
| Tabela 6: ANOVA determinada em Excel, com os resultados registados na tabela 5. | 50 |
| Tabela 7: Resultados obtidos para a densidade linear, à trama, ao longo de 5 dias, para o estudo da precisão do método. A incerteza associada é ± 19 /dm. | 52 |
| Tabela 8: ANOVA determinada em Excel, com os resultados registados na tabela 7. | 52 |
| Tabela 9: Fatores estudados para a avaliação da robustez do método. | 53 |
| Tabela 10: Dados obtidos da densidade linear, à teia e trama, relativos ao estudo da robustez. | 53 |
| Tabela 11: Determinação do efeito de cada fator (R), para os resultados obtidos para a teia. | 54 |
| Tabela 12: Determinação da média (\bar{x}) e variância (s^2) para os resultados obtidos, nos ensaios 1, 2, 3 e 4. | 55 |

| | |
|--|----|
| Tabela 13: Resultados obtidos para o peso total, ao longo de 5 dias, para o estudo da precisão do método. A incerteza associada é $\pm 0,001$ g. | 57 |
| Tabela 14: ANOVA determinada em Excel, com os resultados registados na tabela 13. | 58 |
| Tabela 15: Resultados das medições efetuadas diretamente no tecido e sobre o provete, para a densidade linear, à teia e trama. | 58 |
| Tabela 16: Resultados das medições efetuadas no centro e na margem, para o peso total. A incerteza associada é $\pm 0,001$ g. | 60 |
| Tabela 17: Resultados obtidos, na análise de 11 lotes, no ensaio do peso total, para o estudo da precisão do processo de revestimento. A incerteza associada é $\pm 0,001$ g. | 61 |
| Tabela 18: ANOVA determinada em Excel, com os resultados registados na tabela 17. | 62 |

1. Introdução

Este trabalho, foi desenvolvido no âmbito da dissertação do mestrado em Técnicas de Caracterização e Análise Química.

O estágio, decorreu na empresa *Safe Life* – Indústria de Componentes e Segurança Automóvel S.A. e a principal finalidade, era conhecer o sistema de gestão de qualidade associado ao setor automóvel, participar em análises de rotina diárias ligado ao controlo de qualidade, assim como estudar a validação de alguns dos métodos de ensaio aplicados no ramo automóvel.

O presente trabalho, está dividido essencialmente em três partes. A primeira diz respeito à introdução, onde se faz uma breve caracterização da empresa onde foi elaborado o estágio curricular, é referida um pouco da história do *airbag*, os tipos de *airbag*, bem como as características que o tecido que faz parte da composição do *airbag* deve apresentar. Além disso, também são indicadas as matérias-primas mais utilizadas para o tecido, assim como o processo de fabricação deste. Uma breve apresentação acerca do sistema de gestão de qualidade também é referida. A segunda parte do documento, está relacionado com a parte experimental, onde são apresentados os métodos de ensaio aplicados no controlo de qualidade, efetuados diariamente. Na terceira parte, são apresentados alguns exemplos de resultados obtidos nas análises de rotina, bem como a validação de alguns dos métodos aplicados nestas análises.

Por fim, são apresentadas as conclusões finais acerca do trabalho realizado e a bibliografia.

1.1. Apresentação da empresa

A ZF é uma empresa global de tecnologia que fornece sistemas para automóveis de passageiros, veículos comerciais e tecnologia industrial, permitindo a próxima geração de mobilidade. A ZF permite que os veículos vejam, pensem e ajam. Nos quatro domínios de tecnologia de controlo de movimento do veículo, segurança integrada, direção automatizada e mobilidade elétrica, a ZF oferece soluções abrangentes de produtos e software para fabricantes de veículos estabelecidos e provedores de serviços de transporte e mobilidade emergentes. A ZF eletrifica uma ampla gama de tipos de veículos. Com seus produtos, a empresa contribui para reduzir as emissões, protegendo o clima e aumentando a mobilidade segura.

No ano fiscal de 2020, a ZF relatou vendas de €32,6 bilhões. A empresa emprega mais de 150.000 associados em aproximadamente 270 localidades em 42 países.

Em Portugal, o grupo ZF encontra-se representado por três unidades fabris, duas no concelho de Ponte de Lima e a outra em Vila Nova de Cerveira. A abertura da primeira fábrica foi em Vila Nova de Cerveira em 1992 com a atividade de produção de volantes de direção. Posteriormente, em 2000 instala-se uma

nova unidade fabril em Ponte de Lima para produção de sacos *airbag* e em 2004 uma segunda unidade fabril em Ponte de Lima para a montagem de módulos *airbag*.

Em 2001, após a abertura da unidade fabril produção de sacos *airbag*, deu-se início às atividades de I+D de sacos *airbag*, em Vila Nova de Cerveira. 15 anos depois, em 2016, cria-se uma nova localização do Centro I+D em Ponte de Lima, onde se passam a realizar atividades de investigação e desenvolvimento de sacos e módulos *airbag* e passou a ser realizado atividades de I+D com volantes nos centros de Vila Nova de Cerveira. [1]

A *Safe-Life* - Indústria de componentes e segurança automóvel S.A., onde foi desenvolvido o estágio curricular, pertence ao grupo ZF e encontra-se localizada em Portugal, no Parque Industrial da Gemieira, pertencente ao concelho de Ponte de Lima. Esta unidade fabril, relacionado com o setor automóvel instalou-se em 2000, com a finalidade de produzir sacos de *airbag*. São desenvolvidos sacos de módulo *airbag* para o motorista, passageiro, tórax, cortina e de joelho. Os seus principais clientes são a *Fiat*, *Ford*, *General Motors*, *Jaguar*, *Land Rover*, *Hyundai*, *Renault-Nissan*, *Peugeot Société Anonyme*, *Volvo* e *Volkswagen*.

No último ano de 2020, a empresa apresentou uma produção total de cerca de 12 milhões de unidades de sacos de *airbag*. A produção do saco de *airbag* engloba várias etapas, destas as que são elaboradas na empresa, é o revestimento de tecido, o corte a laser do tecido revestido e a execução do saco nas respetivas linhas de produção. Além disso, a *Safe-Life* também possui um laboratório de controlo de qualidade, onde são testados os tecidos recobertos com o silicone, antes de ser produzido o saco *airbag*, de modo a verificar a conformidade e desempenho do produto.

A empresa é certificada pelas normas *International Organization for Standardization* (ISO) 14001:2015, relacionada com sistemas de gestão ambiental e a *International Automotive Task Force* (IATF) 16949:2016, com sistema de gestão de qualidade.

1.2. Airbag

1.2.1. História do *airbag*

O primeiro *design* de *airbag* comercialmente aplicável e o precursor dos sistemas mais atuais, é creditado aos *designs* de *Yasusaburo Kobori* no Japão em 1963 e patentes subsequentes, e de *Allen K. Breed*, que em 1967 complementou o conceito de *Kobori* com o sensor mecânico de deteção de colisão necessário,

que disparou o *airbag* em menos de 30 mseg, valor suficientemente inferior ao valor limite para um enchimento eficaz do *airbag* numa colisão.

Os *airbags* foram introduzidos pela primeira vez em automóveis de passageiros nos Estados Unidos da América em 1971 pela *Ford*, seguido pela *General Motors* que forneceu *airbags* frontais como um extra opcional entre 1974 e 1976. Mais tarde, com a implementação do *Federal Motor Vehicle Safety Standards* (FMVSS) em 1984, as perspetivas do mercado de *airbags* melhoraram nos Estados Unidos da América e houve um aumento no número de automóveis equipados com *airbags* frontais do condutor e passageiro, junto com os cintos de segurança. [2]

Na Europa, a *Mercedes-Benz* introduziu um sistema integrado em 1981 na Alemanha, onde os sensores pré-tensionariam automaticamente os cintos de segurança, para reduzir o movimento do ocupante durante um impacto, seguido pelo acionamento do *airbag*. Os *airbags* para condutor e passageiro foram introduzidos pela primeira vez em 1987, no “*Porsche-944 Turbo*” como equipamento de segurança padrão. No entanto, os *airbags* não foram adotados em veículos familiares em toda a Europa até ao início de 1990.

No final do século XX, quase todos os fabricantes de automóveis nos Estados Unidos da América e na Europa introduziram sistemas de retenção de *airbag* nos seus veículos e, desde então, os *airbags* de impacto lateral têm sido englobados nos automóveis, além dos *airbags* frontais.

O primeiro *airbag* de impacto lateral do mundo, da *Autoliv*, foi instalado pela *Volvo* em junho de 1994.

Os *airbags* de primeira geração na década de 1970 eram *airbags* de poliamida revestidos de neopreno, que também foram adotados no final do ano 1980 e início de 1990. Esses *airbags* eram feitos de fios de poliamida 420 ou 840 *denier*. Nos desenvolvimentos de segunda e terceira geração, eram necessários tecidos mais leves e mais flexíveis e, para atender a esses requisitos, menores pesos de adição de revestimento de neopreno foram aplicados e tecidos leves revestidos de silicone foram introduzidos. [2]

1.2.2. Conceitos e definições

No automóvel, além de conforto, estética, velocidade, durabilidade e eficiência, a segurança é uma prioridade para o condutor e passageiro. Os *airbags* funcionam como um complemento dispositivo de segurança para o ocupante, quando corretamente imobilizado com o cinto de segurança. No decorrer de uma colisão, os cintos de segurança prendem o ocupante com segurança no lugar e os *airbags* enchem instantaneamente para amortecer o passageiro com uma almofada cheia de gás. O *airbag* faz parte de um sistema de retenção inflável conhecido como “*air cushion restraint system*” (ACRS). Os *airbags* são denominados dispositivos passivos, uma vez que não é necessária nenhuma ação por parte do ocupante do veículo para os ativar. [2]

Os principais componentes de um *airbag* são[3]:

- Sensor de colisão: unidades que permitem medir o movimento induzido por colisões (como acelerações, velocidades ou deslocamentos) dos pontos da estrutura do veículo onde se encontram localizados.
- Unidade de controlo: após os sensores detetarem o impacto, o sinal é transmitido para a unidade de controlo e esta por sua vez, analisa a informação e se necessário ativa o gerador que contém o gás.
- Módulo de *airbag* gerador: O gerador contém o gás, que ao ser acionado vai encher o saco armazenado no módulo *airbag*.

Na figura 1 que se segue, está apresentado um esquema do sistema de *airbag* antes e após uma colisão.

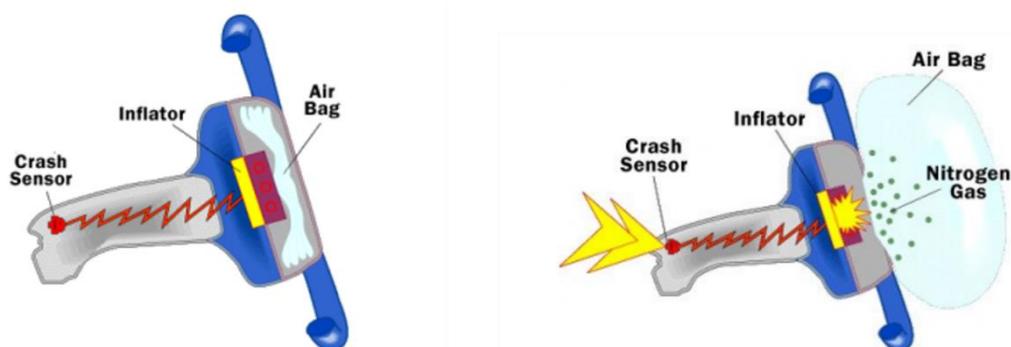


Figura 1: Representação do sistema de *airbag* antes e após a colisão. [4]

Os *airbags* nos automóveis estão localizados em vários locais estratégicos para atenuar o impacto de um acidente. Os *airbags*, podem ser classificados de diferentes formas com base na sua localização no interior do automóvel, em frontais, impacto lateral, centrais e de joelho, como se apresenta na tabela 1.

Tabela 1: Tipos de *airbag* e a sua funcionalidade. [2]

| Tipos de <i>airbag</i> | Funcionalidade |
|------------------------|----------------|
|------------------------|----------------|

| | | |
|-----------------|--------------------|--|
| Frontais | Frontal condutor | Alojados no volante ou num painel interior de um veículo. São cobertos por um painel de cobertura que cobre o compartimento que contém o módulo <i>airbag</i> . Estes <i>airbags</i> disparam em cerca de 50 mseg. |
| | Frontal passageiro | |
| Impacto lateral | Tronco lateral | Os <i>airbags</i> de impacto lateral são projetados para manter o ocupante longe da zona de impacto e reduzir o golpe do lado de intrusão do veículo. São normalmente instalados nas costas dos assentos dianteiros ou atrás do revestimento da porta. |
| | Cortina lateral | |
| | Tórax lateral | |
| | Pelve-tórax | |
| | Cabeça-tórax | |
| Centrais | Central traseiro | Dispara do teto durante um impacto lateral para minimizar os ferimentos quando os ocupantes colidem uns com os outros. Este <i>airbag</i> foi desenvolvido para não disparar se a posição central do banco traseiro não for ocupada. |
| | Central frontal | <i>Airbag</i> tubular localizado entre os dois bancos dianteiros. O <i>airbag</i> dispara do lado direito ou esquerdo do assento do condutor para o proteger nos impactos laterais. |
| Joelho | Condutor | Os <i>airbags</i> de joelho são projetados para reduzir as lesões nas pernas e podem ser montados quer no lado do condutor, quer no lado do passageiro. Visam restringir o movimento do joelho e da perna para a frente, de modo a reduzir possíveis lesões. Estes <i>airbags</i> encontram-se localizados do lado do condutor e do passageiro, abaixo da coluna de direção e abaixo do porta-luvas, respetivamente. |
| | Passageiro | |

O processo de fabricação de *airbags*, envolve várias etapas, no qual se inicia a seleção adequada das matérias-primas. No item seguinte irão ser apresentadas as diferentes matérias-primas, utilizadas na fabricação de *airbags*.

1.2.3. Matérias-primas englobadas na produção do saco módulo *airbag*

Os tecidos que constituem o saco do módulo *airbag*, são preparados a partir de fibras sintéticas termoplásticas, que sofrem alterações, quando sujeitos a temperaturas bastante elevadas ou quando expostos a temperaturas acima da sua temperatura de transição vítrea (Tg). Assim, as fibras utilizadas para esta finalidade, devem de apresentar as seguintes características:

- Possuir alta resistência e estabilidade térmica;
- Boas propriedades de envelhecimento;
- Boa aderência do revestimento;
- Funcional em condições ambientais extremamente quentes e frias.

As fibras têxteis são polímeros e estes podem ser definidos como, uma macromolécula composta de pequenas unidades repetitivas (monómeros) que são unidas por ligações químicas covalentes. [5]

O polietileno tereftalato (PET), um poliéster, é obtido através da policondensação de ácidos dicarboxílicos com dióis, formando assim a ligação éster, como demonstrado na figura 2.



Figura 2: Reação de policondensação entre um ácido dicarboxílico e um diol.

A estrutura do PET é apresentada na figura 3. É uma estrutura composta por anéis de benzeno e as suas unidades estruturais contém sequências de seis grupos alifáticos (-CO-O-CH₂-CH₂-O-CO-).

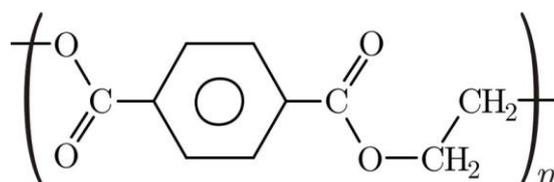


Figura 3: Polietileno tereftalato (PET).

A coesão das cadeias deste polímero é resultado de ligações de hidrogénio e interações de *Van der Waals*. A resistência das fibras PET é determinada pela rigidez do anel de benzeno e a flexibilidade deve-se principalmente à presença do grupo etileno. O elevado ponto de fusão que esta fibra têxtil apresenta, é atribuído às ligações éster. [6]

As poliamidas (PA), são polímeros que contém ligações repetidas amida -CO-NH-. As posições regulares dos grupos -CO-NH- nas cadeias poliméricas são responsáveis pela formação de ligações de hidrogénio entre o hidrogénio de um grupo NH e o oxigénio do grupo CO de outro grupo amida. Este tipo de ligações que se estabelecem são as principais peculiaridades das poliamidas, responsáveis pela sua estrutura e comportamento.

As poliamidas do tipo AABB, são produtos de condensação de diaminas com ácidos dicarboxílicos. As poliamidas obtidas por polimerização por abertura do anel de lactamas ou policondensação de aminoácidos são conhecidas como o tipo AB. As ligações amida em unidades elementares de tipos AB são dispostas "cabeça com cabeça" (menos ligações de hidrogénio) e em unidades elementares de tipos AABB são "cabeça com cauda" (mais ligações de hidrogénio), como é apresentado na figura 4. O maior número de ligações de hidrogénio entre as cadeias resulta em propriedades mecânicas melhoradas. [7]

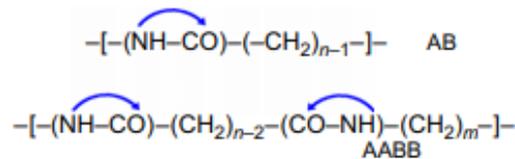


Figura 4: Arranjos de ligação amida em poliamidas AB e AABB.

Todas as poliamidas são identificadas por números, que correspondem ao número de átomos de carbono pelo qual o monómero é constituído. As poliamidas do tipo AB têm um dígito. As poliamidas dos tipos AABB possuem dois dígitos e o primeiro corresponde ao número de carbonos da diamina.

A poliamida mais comum do tipo AB é policaprolactama, isto é, PA 6 (figura 5), e o tipo mais comum de tipo AABB é polihexametileno adipamida, isto é, PA 6.6 (figura 6).

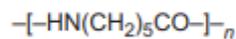


Figura 5: Policaprolactama (PA 6).

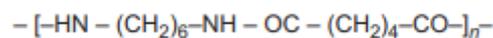


Figura 6: Polihexametileno adipamida (PA 6.6).

O monómero básico para PA 6 é a caprolactama ou ácido caprónico e o monómero básico para a PA 6.6 é diamina de hexametileno e ácido adípico. [7]

As fibras mais recorrentes a serem usadas na fabricação do tecido *airbag*, são a poliamida 6.6 e o poliéster. Estas fibras, apresentam propriedades consideradas ótimas, para o desenvolvimento do *airbag*.

O poliéster é a segunda fibra mais utilizada a seguir à poliamida. Alguns *airbags* desenvolvidos com tecido de poliéster, apresentaram propriedades mecânicas superiores, flexibilidade e melhores propriedades de acondicionamento, ao mesmo tempo que mantêm um desempenho eficaz sob condições severas de alta temperatura e humidade.

A poliamida apresenta propriedades particulares, tais como baixa densidade, maior calor latente de fusão, características superiores de envelhecimento, maior alongamento e resistência, o que são propriedades essenciais num tecido *airbag*, de modo a obter um produto final de qualidade e excelência. Além disso, *airbags* produzidos com este tipo de fibras, têm um custo associado superior.

Os blocos de construção básicos para os tecidos do *airbag* são os fios. Antes, os tecidos de *airbag* eram fabricados a partir de fios de filamentos de poliamida 6.6 mais grossos (cerca de 940 *dtex*), enquanto que os *airbags* atuais são fabricados com filamentos de poliamida 6.6 mais finos (entre 50 e 850 *dtex*). O número de filamentos individuais no fio é importante para alcançar as propriedades desejadas. O uso de filamentos mais finos resulta num tecido que apresenta menor permeabilidade ao ar e menor rigidez (o que facilita acondicionamento/embalamento do *airbag*). Em contrapartida, a tração e a resistência ao rasgo dos fios de filamentos mais finos é menor.

Na tabela 2, é apresentada informação acerca da densidade, da capacidade térmica mássica, do ponto de fusão e amolecimento das fibras mais recorrentes.

Tabela 2: Propriedades físicas das fibras mais utilizadas no tecido do saco do módulo *airbag*. [2]

| Parâmetros | Poliamida 6.6 | Poliéster |
|--------------------------------------|---------------|-----------|
| Densidade (kg/m ³) | 1120 | 1390 |
| Capacidade térmica mássica (kJ/kg/K) | 1,67 | 1,30 |
| Ponto de fusão (°C) | 256 | 256 |
| Ponto de amolecimento (°C) | 220 | 200 |
| Energia para derreter (kJ/kg) | 589 | 427 |

Embora se observe, que os pontos de fusão da poliamida 6.6 e do poliéster sejam iguais, observa-se uma diferença relevante quanto à capacidade térmica mássica, densidade e a energia de derretimento das duas fibras. Verifica-se que a poliamida tem uma maior capacidade de armazenar energia, por ter uma capacidade térmica mássica mais elevada. Apresenta também uma menor densidade, o que tem por consequência *airbags* mais leves, o que é benéfico, uma vez que *airbags* com menor massa induz uma energia cinética do impacto sobre o ocupante menor, garantindo uma maior segurança. Quanto à

energia de derretimento, verificamos que é necessário cerca de 30% mais de energia para fundir a poliamida 6.6, relativamente ao poliéster. [2]

1.2.4. Processo de fabricação do *airbag*

O processo de fabricação de tecidos para *airbag*, engloba várias etapas, entre as quais a seleção do fio apropriado, seguida pelos processos preparatórios, tecelagem, acabamento químico (lavagem, configuração do calor e revestimento) e inspeção final.

Processo preparatório: envolve a preparação do fio. Qualquer falha deixada durante este processo é transferida para os tecidos. Este processo deve ser realizado com todo o cuidado para produzir tecidos de boa qualidade.

Tecelagem: o controlo neste processo desempenha um papel vital na obtenção de tecidos de alta qualidade e sem defeitos. Se, os tecidos do *airbag* são tecidos elaborados em máquinas de tecelagem com inserção de pinças, é possível serem obtidos com zero defeitos e bem-sucedidos a alcançar altas densidades de trama. A alta densidade de trama é necessária para garantir a integridade estrutural do *airbag* e a sua capacidade de resistir à inflação e às forças de colisão durante a sua implementação.

Os fios à teia e trama são geralmente da mesma composição e espessura. É importante ter um tecido equilibrado, isto é, os fios à teia e trama apresentarem igual densidade, pois deste modo existe uma resistência à tração semelhante nas direções de teia e trama.

Acabamento: este processo pode incluir a desengomagem (para remoção de material de colagem), a lavagem e branqueamento (para remover impurezas e melhorar a adesão), configuração do calor (para estabilidade dimensional do tecido após o processamento) e revestimento (para fornecer permeabilidade ao ar).

Revestimento: realizado com silicone ou outro material de revestimento para obter um maior controlo sobre a permeabilidade ao ar que o tecido *airbag* apresenta e atingir uma melhor resistência à tração e rasgo. A permeabilidade ao ar dos tecidos do *airbag* é um parâmetro importante na determinação da taxa de inflação e subsequente deflação durante um impacto. Geralmente, uma baixa capacidade de permeabilidade do ar é necessária nos tecidos de *airbag* e muito em especial, para os tecidos não revestidos, que são implantados sem nenhum revestimento. A presença de uma permeabilidade do ar demasiado elevada, vai levar a que haja uma libertação de uma quantidade maior de gás muito rapidamente e como consequência, quando o ocupante atingir o *airbag*, ele pode não fornecer resistência suficiente para evitar que o ocupante embata nas partes mais rígidas do veículo. Além disso, uma

permeabilidade ao ar demasiado alta, pode também causar queimaduras faciais no ocupante devido ao vazamento excessivo de gás, que se encontra a elevadas temperaturas, através dos tecidos durante a inflação do *airbag*. Por outro lado, a permeabilidade muito baixa, leva a que haja uma libertação de pouco gás através do tecido durante o seu funcionamento numa colisão, no momento em que o ocupante colide com o *airbag*, o que por sua vez pode estar associado a um efeito de amortecimento demasiado elevado, levando até a situações de asfixia pela parte do ocupante. Os *airbags* são revestidos com uma ou mais camadas de materiais poliméricos principalmente para melhorar o seu desempenho. O revestimento de silicone envolve uma etapa de revestimento e uma de inspeção. Para fornecer um material económico e funcional, alternativo ao silicone, foram desenvolvidos sistemas de revestimento multicamadas. Os polímeros usados para tais revestimentos, incluem poliuretano, acrílicos e outros materiais semelhantes usados sozinhos ou em combinação com o silicone. Além do custo, outro problema associado ao revestimento do silicone é a adesão insuficiente aos tecidos base durante a sua extensão sob altas temperaturas. Este problema pode ser evitado usando um polissiloxano com um grupo epóxi específico, que adere firmemente a tecidos poliéster e poliamida. Os revestimentos de silicone não comprometem a estabilidade a longo prazo das fibras de poliamida, o que garante uma vida útil mais longa da componente do *airbag*. [2]

De seguida, na tabela 3 são apresentadas as propriedades físicas de um polissiloxano usado no revestimento de *airbag*.

Tabela 3: Características de um polissiloxano, utilizado no processo de revestimento do tecido. [2]

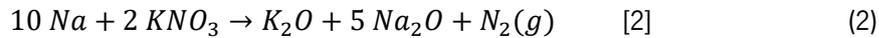
| Propriedade | Valor |
|--|---------------------|
| Dureza, Shore A | 39 |
| Resistência à tração, N/m ² | 3,3x10 ⁶ |
| Alongamento, % | 200 |
| Resistência ao rasgo, N/mm | 5,2 |
| Viscosidade (100% sólidos), cps | 60 000 |

1.2.5. Química do *airbag*

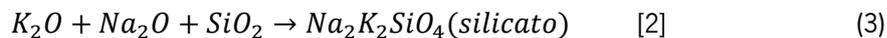
No interior do *airbag*, há um gerador de gás que contém uma mistura de NaN₃, KNO₃ e SiO₂. Quando o carro sofre uma colisão frontal, uma série de três reações químicas ocorre no gerador. Essas reações têm como principal objetivo produzir gás nitrogénio (N₂) para encher o *airbag* e converter NaN₃, uma substância altamente tóxica, em silicato de sódio e potássio. [8]



A azida de sódio (NaN_3) pode decompor-se a 300°C , para produzir sódio metálico (Na) e gás nitrogénio (N_2). Esta reação (1) acontece, desencadeada pelo sensor de colisão, que gera um sinal elétrico, criando a condição de alta temperatura. [8]



O objetivo do KNO_3 e do SiO_2 é remover o sódio metálico (que é altamente reativo e potencialmente explosivo), convertendo-o numa espécie inerte. O sódio reage com o nitrato de potássio (KNO_3) para produzir óxido de potássio (K_2O), óxido de sódio (Na_2O) e gás N_2 adicional. O N_2 gerado nesta segunda reação (2) também preenche o *airbag*, e os óxidos de metal vão reagir numa terceira reação (3) com o dióxido de silício (SiO_2) para produzir silicato, que é uma espécie estável, uma vez que os óxidos de metal obtidos como produtos nesta reação são altamente reativos. [8]



1.2.6. Sistema de gestão de qualidade na indústria automóvel

O mercado exigente e competitivo em que se enquadram os fabricantes da indústria automóvel e os seus fornecedores, requer a adoção de Sistemas de Gestão da Qualidade orientados para a melhoria contínua, para a redução da variação e do desperdício, bem como para a ênfase na prevenção de defeitos, numa perspetiva global e ao longo de toda a cadeia de valor.

Suportados nas normas ISO 9000, foram desenvolvidos referenciais orientados para o setor automóvel que incluem, a título de exemplo, requisitos específicos associados à competência, consciencialização e formação dos colaboradores, à conceção e desenvolvimento de produtos, à produção e fornecimento do serviço e às atividades de medição, monitorização, análise e melhoria.

Desta forma, a certificação de acordo com o referencial IATF 16949 é uma obrigatoriedade para a inclusão de uma organização nas listas de fornecedores regulares dos fabricantes de automóveis.

A IATF 16949 está alinhada com a ISO 9001, respeitando a sua estrutura e requisitos. Uma organização da indústria automóvel certificada pela IATF 16949 também deve cumprir com a ISO 9001. [9]

A certificação IATF 16949 garante [10]:

- Consistência na qualidade de produtos e serviços
- Redução na variação e desperdício da cadeia de fornecimento

- Prevenção de defeitos

O Manual da Qualidade é o documento de referência do Sistema de Gestão da Qualidade (SGQ), que deve evidenciar como são cumpridos os diferentes requisitos da norma e descrever a estrutura documental utilizada. Deve ainda fazer referência aos procedimentos auxiliares aplicáveis e demais documentação do SGQ. A informação contida no Manual de Qualidade deve indicar onde pode encontrar informação complementar, referindo claramente os procedimentos da qualidade e técnicos aplicáveis, os responsáveis, os ensaios, o pessoal envolvido e outra informação relevante, alguma incluída em anexos de forma a evitar uma frequente atualização do corpo do Manual. Quanto à documentação interna deve existir listagens atualizadas de documentos, sejam procedimentos da qualidade ou técnicos, instruções de trabalho, impressos ou registos, com a identificação clara: nome, codificação, versão em vigor e respetiva data. Relativamente aos documentos externos, deve-se proceder de forma sistemática ao seu controlo, de forma a evitar listagens incompletas e desatualizadas, com documentos que já não se encontram em vigor.

A qualificação profissional sendo um requisito da norma, deve ser evidenciada para todos os que realizam ensaios e/ou calibrações e trabalham com equipamentos específicos. A avaliação de desempenho em ensaios interlaboratoriais e materiais de referência certificados (MRC), permite evidenciar a competência dos técnicos que realizaram os ensaios. No entanto, a inexistência destes controlos externos, exige o uso de outros processos, nomeadamente o estudo da repetibilidade para cada analista objeto de qualificação e a precisão intermédia do laboratório para o ensaio em estudo. A avaliação de desempenho permite que o laboratório detete necessidades de formação, que deverão fazer parte do plano de formação.

Os métodos utilizados pelo laboratório devem, antes de mais, satisfazer as necessidades do cliente. Assim devem ser selecionados preferencialmente métodos normalizados que permitam cumprir a legislação aplicável, em vigor e o cliente informado sobre os métodos escolhidos.

O equipamento necessário à correta execução dos ensaios e o respetivo software, deve cumprir com as especificações relevantes para os ensaios, ser identificados inequivocamente e ser protegido contra ajustes que possam invalidar os resultados. Os equipamentos utilizados em ensaios ou calibrações, que tenham impacto significativo sobre a exatidão ou a validade do resultado, devem ser calibrados, por entidades competentes (Laboratórios metrológicos acreditados), antes de entrar ao serviço e definidos os erros máximos aceitáveis, de acordo com os requisitos das normas de ensaio, tendo em conta as especificações do fabricante. Assim deve existir um plano de calibração adequado. Quando sujeitos a

calibração, os equipamentos devem ser etiquetados, codificados e indicar a data da última e da próxima calibração.

Os resultados dos ensaios ou calibrações devem ser apresentados nos relatórios de ensaio de forma tecnicamente clara e correta, fornecendo toda a informação relevante para o cliente, devendo também ser ponderado o número de dígitos usados. O número de algarismos significativos deve ser coerente com as indicações da norma de ensaio e com a incerteza estimada para o resultado, ou na sua ausência com a variabilidade e dispersão dos resultados.[11]

1.3. Controlo de qualidade

O controlo de qualidade numa empresa fabricante de componentes de segurança automóvel é um requisito imprescindível da garantia de qualidade. Desta forma, entende-se como operações de controlo de qualidade, o conjunto de operações que são seguidas para monitorizar a qualidade durante o processo de fabricação, avaliando o desempenho seja das matérias-primas, das embalagens, produtos em processo ou acabados. Assim, a verificação da conformidade das especificações deve ser vista como um requisito necessário para a garantia de qualidade, excelência, segurança e eficácia do produto e não somente como uma exigência regulatória. [12] Na empresa onde foi desenvolvido o presente estágio, são aplicados dois tipos de controlo de qualidade, ao saco do módulo de *airbag* e ao tecido revestido que por sua vez, é utilizado na elaboração do saco.

1.3.1. Saco do módulo *airbag*

Depois de a fibra têxtil passar pelo processo de revestimento e de serem efetuados os ensaios de controlo de qualidade, de modo a avaliar se o tecido recoberto está de acordo com todas as especificações estabelecidas é produzido o saco do módulo de *airbag*, nas respetivas linhas de produção. Após o saco ter sido elaborado e antes de prosseguir para o embalamento, tem de ser avaliado e verificar se não apresenta nenhum defeito que comprometa o seu desempenho e eficácia. Assim, na produção da empresa, estão permanentemente presentes auditores de qualidade, de modo a controlar as linhas de produção, para garantir o correto procedimento de produção do produto, bem como a inspecionar os sacos produzidos.

1.3.2. Tecido revestido utilizado no *airbag*

Antes de o saco ser produzido, o tecido recoberto com o silicone tem de ser testado recorrendo a vários métodos de ensaio aplicados no laboratório de controlo de qualidade. Os resultados obtidos nos ensaios têm de se encontrar dentro das especificações regulamentadas para posteriormente se prosseguir com

a execução do saco do módulo de *airbag*. No próximo capítulo, vão ser descritos e aprofundados os métodos de ensaio, aplicados neste tipo de controlo de qualidade.

1.4. Validação de métodos analíticos

Um método de ensaio é um processo que envolve manipulações suscetíveis de acumular erros (sistemáticos e/ou aleatórios), podendo assim, em algumas situações, alterar de forma significativa o valor do resultado final. É fundamental que os laboratórios disponham de meios e critérios objetivos, para demonstrarem, através da validação, que os métodos internos de ensaio que executam, conduzem a resultados credíveis e adequados à qualidade pretendida.

Os requisitos mínimos para a validação de métodos internos de ensaio dependem do tipo de método em causa e compreende o estudo, sempre que possível de parâmetros de desempenho entre os quais se destacam a precisão intermédia, a repetibilidade, robustez e incertezas associadas. [13]

A precisão intermédia e a repetibilidade, são parâmetros utilizados para validar a precisão do método.

A precisão é um termo geral que pretende avaliar a dispersão de resultados entre ensaios independentes, repetidos sobre uma mesma amostra, amostras semelhantes ou padrões, em condições definidas.

A robustez de um método de ensaio mede a sensibilidade que este apresenta face a pequenas variações. Um método diz-se robusto se se revelar praticamente insensível a pequenas variações que possam ocorrer quando este está a ser executado. [13]

1.4.1. Repetibilidade e precisão intermédia

O estudo de repetibilidade consiste na aproximação entre resultados de medições sucessivas da mesma mensuranda, realizada nas mesmas condições de análise em curtos intervalos de tempo, isto é no mesmo laboratório, pelo mesmo analista, utilizando o mesmo equipamento e os mesmos reagentes.

A precisão intermédia permite avaliar o impacto das alterações que poderão ocorrer no dia-a-dia do laboratório, tais como, a realização do ensaio por diferentes analistas, em diferentes equipamentos, diferentes épocas e avaliar o efeito com/sem verificação da calibração. Este parâmetro é avaliado tendo em conta a mesma amostra, amostras idênticas ou padrões, utilizando o mesmo método, no mesmo laboratório ou em laboratórios diferentes. Na avaliação da precisão intermédia deve-se variar um fator para se efetuar o estudo evitando a variação de mais do que um fator em simultâneo.

A precisão intermédia é o parâmetro que permite uma representação mais significativa da variabilidade dos resultados num laboratório e em regra para a sua determinação são realizadas n medições em

replicado, duplicado ou em ensaio único, sobre a amostra, nas condições pré-definidas para posterior tratamento da forma que o laboratório considerar mais adequada, que irá depender do ensaio e do tipo de aplicação do estudo da precisão intermédia. [12]

As diferentes maneiras para determinação simultânea da repetibilidade e precisão intermédia são descritas na ISO 5725-3.

Subamostras do teste selecionado, o material é analisado segundo réplicas sob condições de repetibilidade numa série de execuções diferentes, com variação máxima nas condições entre as execuções (dias diferentes, analistas diferentes, equipamentos diferentes, etc.). Através da ANOVA unilateral, a repetibilidade pode ser calculada como a precisão dentro do grupo, enquanto a precisão intermédia é obtida segundo a raiz quadrada da soma dos quadrados da precisão dentro do grupo e entre a precisão do grupo. Esse tipo de estudo pode fornecer uma maneira eficiente de obter graus de liberdade suficientes para estimativas de repetibilidade e precisão entre grupos.

Para aplicar a ANOVA, deve-se obter 6 a 15 grupos de medidas em duplicado obtidos em condições de repetibilidade, em dias diferentes, para cada material. Calcular o desvio padrão de repetibilidade (S_r) e entre grupos o desvio padrão de precisão intermédia (S_i), dos resultados, para cada material. [14]

Também a partir dos dados obtidos é possível determinar o coeficiente de variação de repetibilidade (CV_r) e precisão intermédia (CV_i), pelo quociente entre o desvio padrão de repetibilidade e precisão intermédia, respetivamente e a média dos valores considerados.

1.4.2. Robustez

Para determinar a robustez de um método de ensaio, pode-se recorrer ao teste de *YOUDEN*. Trata-se de um teste simples, que permite não só avaliar a robustez do método, como também seriar a influência de cada uma das variações nos resultados finais, indicando qual o tipo de influência (por excesso ou por defeito) de cada uma dessas variações. Convém salientar que quanto maior for a robustez de um método, maior será a confiança desse relativamente à sua precisão.

Este teste baseia-se na realização de um determinado número de ensaios sobre uma amostra, realizados segundo um plano de controlo de fatores (até um máximo de sete), suscetíveis de influenciarem o processo. Os ensaios devem ser realizados em replicados, de forma a não causar interpretações erradas. Chamam-se fatores aos parâmetros cujos efeitos de flutuação se pretendem quantificar através dos resultados dos ensaios. Assim, é avaliado o efeito de cada fator em estudo, através de uma análise dos resultados experimentais.

O procedimento para elaboração do teste de *YOUDEN* é o seguinte:

- a) Análise pormenorizada através das prescrições do método e da experiência pessoal e histórica, para a seleção de sete fatores (A, B, C, D, ..., G) ou de três fatores de interesse (A, B, C), independentes entre si e suscetíveis de influenciarem os resultados finais das determinações.
- b) Fixação dos valores nominal e alternativo para quantificação dos desvios dos fatores em relação aos valores prescritos. Representa-se normalmente o valor nominal por "1" e o valor alternativo por "-1".
- c) Fixação das condições de realização da série de ensaios tais como:
 - procedimentos de ensaio
 - registos de resultados.
- d) Elaboração do *design* experimental *Plackett-Burman*, de acordo com a figura 7 (para três fatores):

| | A | B | C | RE _i |
|-----------|----|----|----|-----------------|
| 1º ENSAIO | 1 | 1 | 1 | RE1 |
| 2º ENSAIO | 1 | -1 | -1 | RE2 |
| 3º ENSAIO | -1 | 1 | -1 | RE3 |
| 4º ENSAIO | -1 | -1 | 1 | RE4 |
| | RA | RB | RC | |

Figura 7: *Design* experimental *Plackett-Burman*

em que:

- RE_i - resultado experimental obtido pela combinação do ensaio i;
- A, B, C - fatores em análise (valor nominal/valor alternativo);
- R_i (A, B, C) - efeitos de cada fator (i).

- e) Tratamento dos resultados experimentais obtidos, nas condições de aplicação do teste e cálculo dos efeitos através da equação 4:

$$R_i = \frac{\sum RE_i(1) - \sum RE_i(-1)}{Z} \quad (4)$$

em que Z corresponde a metade do número de ensaios.

- f) Ordenação dos valores de efeitos obtidos (em valor absoluto) por ordem de influência.

- g) Crítica dos valores obtidos, recorrendo a testes de significância para verificar se os efeitos observados são estatisticamente significativos.
- h) Controlo mais rigoroso dos fatores de maior influência. [13]

1.4.3. Incertezas associadas

Na prática, a incerteza associada a um resultado provem de várias fontes possíveis, tais como amostragem, condições ambientais, incertezas dos equipamentos, valores de referência, aproximações e suposições incorporadas ao método e ao procedimento de medição.

O cálculo de incertezas é definido como um parâmetro associado ao resultado de uma medição e caracteriza a dispersão dos valores que podem, com razoabilidade, ser atribuídos à mensuranda.

É importante determinar a incerteza para avaliar a confiança de um resultado, ter segurança nas decisões baseadas no seu uso, e comparar resultados de medidas.

Quando a grandeza é obtida através de réplicas da medição, a grandeza deve ser apresentada juntamente com o intervalo de confiança tendo como base na equação 5:

$$c = \bar{c} \pm \frac{ts}{\sqrt{n}} \quad (5)$$

em que, t representa o parâmetro da distribuição estatística t de *Student*, para uma probabilidade de 95% e para um número de graus de liberdade igual a n-1, em que n representa o número de réplicas da medição e s é o desvio padrão. [12]

1.4.4. Cartas de controlo de médias ou indivíduos

A elaboração de uma carta de controlo depende do método de ensaio, da existência ou não de padrões, materiais de referência certificados ou não e da posterior utilização que se lhe quer dar.

As cartas de controlo não são a única ferramenta a utilizar, sendo, no entanto, muito utilizadas em condições de rotina dos métodos e sempre que seja possível repetir uma determinação de padrões de controlo ou de amostras de teores conhecidos, em cada sessão de trabalho e por cada lote de amostra.

Existe uma grande variedade de tipos de cartas de controlo, mas neste caso em específico vai se apenas incidir nas cartas de médias ou indivíduos por serem o tipo de cartas aplicadas no presente trabalho e por ser também uma das cartas de controlo mais comuns.

As cartas de médias ou de indivíduos são documentos que representam a variação no tempo de um parâmetro (valor individual ou uma média de valores).

As cartas de controlo contêm um conjunto de linhas que irão permitir ao operador saber se tem ou não o processo sob controlo. Este conjunto de linhas é constituído por:

Linha central: linha que poderá corresponder à média das leituras efetuadas ou à média dos desvios verificados.

Limite superior ou inferior de controlo: linha que poderá corresponder ao valor da linha central acrescida ou subtraída de $3s$ (situação mais comum), respetivamente, onde s representa o desvio padrão da grandeza a ser controlada. Este acréscimo ou decréscimo, depende fundamentalmente do rigor com o que se pretende trabalhar, podendo por vezes tomar outro valor.

Limite superior ou inferior de alerta: muitas vezes é necessário definir uma linha que alerte o operador que poderá estar a entrar numa zona de perigo. É usual definir esta linha a partir da linha central acrescida ou subtraída de $2s$, respetivamente. [15]

2. Parte Experimental

2.1. Amostragem

No departamento de siliconado, são revestidos com silicone rolos de tecido base que vêm dos fornecedores. Durante o processo de recobrimento, o rolo é identificado com um código de barras acompanhado da informação acerca do tipo de fibra têxtil e o respetivo lote. Esta etapa de identificação do produto, é crucial para garantir a rastreabilidade do mesmo, pois qualquer problema que surja com um determinado material, através do respetivo lote conseguimos obter toda a informação acerca do produto, desde os lotes das matérias-primas envolvidas, até aos componentes e operadores envolvidos na produção do saco do módulo *airbag*. O lote contém informação acerca do dia em que foi aplicado o revestimento, da referência de tecido, o número do rolo produzido até aquela determinada data e quais os produtos utilizados no recobrimento.

Após o rolo de tecido base ser revestido, os colaboradores que controlam o processo de revestimento são responsáveis por tirar uma amostra representativa de tecido recoberto, para posteriormente ser analisada no laboratório de controlo de qualidade, aplicando os vários ensaios estipulados para aprovação daquele lote e assim seguir com a produção do saco englobado no módulo *airbag*.

A amostra retirada do rolo, é transportada até ao laboratório e é acondicionada sob uma temperatura de 20 ± 2 °C, humidade relativa de 65 ± 5 % e durante um período de tempo superior ou igual a 24h, antes de ser testada. Estas condições de armazenamento da amostra, tem por base a ISO 139 – *Textiles – Standard atmospheres for conditioning and testing*.

Para o ensaio de inflamabilidade, as condições de temperatura e humidade são distintas, temperatura de 23 ± 2 °C, a uma humidade relativa de 50 ± 5 %, por um período superior ou igual a 24h.

2.2. Equipamentos

Nesta secção, de acordo com a tabela 4, são apresentados os equipamentos utilizados nos métodos de ensaios relativos ao controlo de qualidade.

Tabela 4: Equipamentos e suas características.

| Equipamentos | Marca e Modelo | Resolução |
|---|---------------------------------|-----------|
| Balança preparativa | COBOS M-300/2002 | 0,001 g |
| Câmara de inflamabilidade | — | — |
| Cronómetro | CASIO HS-80TW | 0,001 seg |
| Dinamómetro | Chantillon DGSII | 0,05 N |
| Máquina de teste de tração e compressão | Zwick Gmbh & Co. Z010/KAP-TC | 0,1 N |

| | | |
|---------------------|---------------------------------|---|
| <i>Pick Counter</i> | TEXTTEST Instruments FX 3250 | — |
| <i>Scrub test</i> | Sybaix | — |

2.3. Procedimentos Experimentais

Os ensaios são realizados para evitar que produtos abaixo do padrão avancem no ciclo de produção. Portanto, vários parâmetros de qualidade são testados para os tecidos de *airbag* e os outros componentes de um módulo de *airbag* antes de serem finalmente montados. Todos os ensaios são realizados por procedimentos padrão, como ASTM, ISO ou outros padrões internacionais ou locais. [2]

Após a amostra revestida, ser estabilizada (atingir as 24h), são retirados provetes para serem testados para os diferentes ensaios de controlo de qualidade. Deve-se marcar uma distância de 200 mm, em cada uma das margens da amostra de tecido revestido e recolher os provetes entre essas duas distâncias sinalizadas.

2.3.1. Tração e alongamento

O ensaio de tração e alongamento, permite determinar a resistência à rutura que uma fibra têxtil apresenta. Como no momento de funcionamento do *airbag*, ele dispara com uma velocidade considerável, temos de prever qual a força máxima a que este pode estar sujeito no ato de inflação do mesmo. Assim, é possível prevenir a sua rutura e por sua vez, não comprometer o desempenho do *airbag* no momento de atuação.

O ensaio do alongamento do tecido revestido, é efetuado segundo a ISO 13934-1[16].

i) Preparação dos provetes

- Ao longo do comprimento e da diagonal do tecido revestido, recolher 3 provetes à teia e trama.
- Desfiar os provetes recolhidos com uma agulha, de modo que o provete fique com a mesma quantidade do número de fios ao longo do comprimento do mesmo.

ii) Execução do ensaio no equipamento

- Colocar o provete entre as mandíbulas da máquina de tração, como representado na figura 8a.
- Garantir que a força da máquina está a zero e dar início ao ensaio.
- Assim que houver rutura do provete, representado na figura 8b, o ensaio dá-se por concluído e é obtido o resultado do alongamento em percentagem (%) e a respetiva força de rutura em N (Newton).

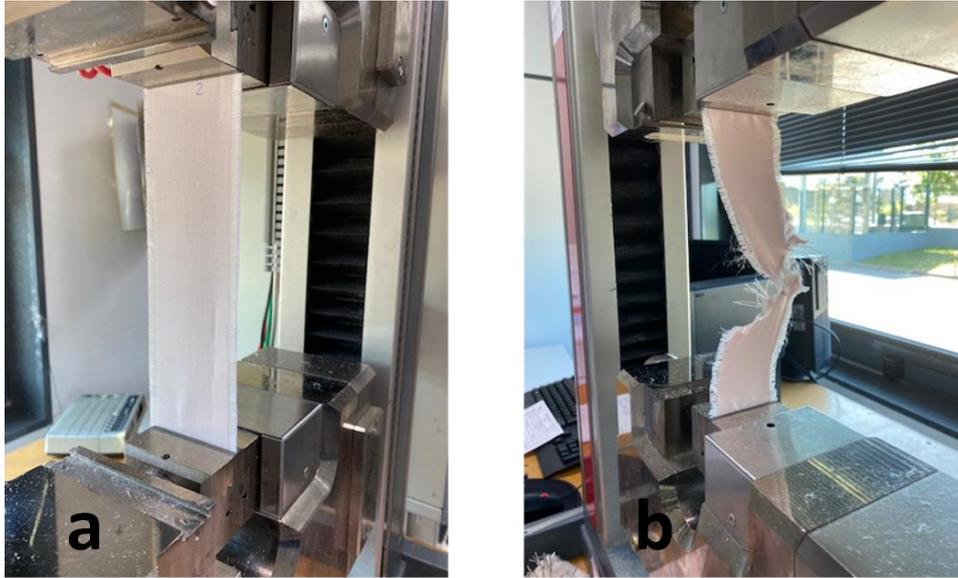


Figura 8: a) Provete antes de ser submetido ao ensaio. b) Provete após ter sido exposto ao ensaio.

- Repete-se todo este procedimento, para todos os provetes.

2.3.2. Inflamabilidade

O teste de inflamabilidade, permite simular um eventual incêndio que possa ocorrer no automóvel, no momento de uma colisão e assim, determinar a velocidade máxima com que o provete arde quando sujeito a uma chama.

O ensaio da inflamabilidade do tecido revestido, é efetuado segundo a FMVSS302.

i) Preparação dos provetes

- Ao longo do comprimento e da diagonal do tecido revestido, recolher 2 provetes à teia e trama, de acordo com a figura 9.

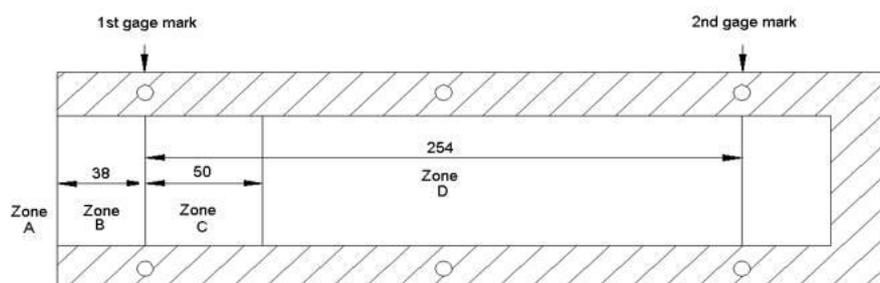


Figura 9: Esquema representativo do provete a ser submetido ao ensaio de inflamabilidade.

ii) Execução do ensaio no equipamento

- O provete é inserido no suporte para ser testado (figura 10a) e posteriormente é colocado na câmara de inflamabilidade e ativa-se a fonte da chama (figura 10b).



Figura 10: a) Provete a ser inserido no suporte da câmara de inflamabilidade. b) Suporte a ser colocado no interior da câmara de inflamabilidade e ativação da chama.

- Começa-se a contabilizar um tempo de 15 s no cronómetro e assim que este tempo for atingido, desliga-se a torneira do gás e para-se o cronómetro e coloca-se a zeros. Assim que a chama atingir a primeira marca no provete (de acordo com a figura 9), começa-se a contabilizar o tempo no cronómetro. Assim que a chama se apagar, para-se o cronómetro e regista-se o tempo que o provete demorou a queimar e a respetiva distância queimada (figura 11).



Figura 11: a) Execução do ensaio de inflamabilidade. b) Registo da distância queimada e do tempo de queima.

- São registados esses valores, para os dois provetes e é obtida a velocidade de queima máxima e por sua vez, é atribuída uma classificação, que pretende descrever o modo de queima e a inflamabilidade do tecido revestido a ser testado.

- Repete-se todo este procedimento, para todos os provetes.

2.3.3. Densidade Linear

O objetivo deste ensaio é verificar a quantidade de fios à teia e trama que o tecido apresenta. Quanto maior for a quantidade, melhores são as propriedades mecânicas que o tecido possui.

O ensaio de densidade linear é efetuado, segundo a norma ISO 7211-2[17].

i) Preparação dos provetes

- Ao longo do comprimento e da diagonal do tecido revestido, recolher 3 provetes à teia e trama.

ii) Execução do ensaio no equipamento

- Colocar o *pick counter* sobre o provete, orientado pelo seguimento dos fios à teia e à trama, como demonstrado na figura 12.



Figura 12: Execução do ensaio da densidade linear.

- Registrar o resultado apresentado pelo equipamento relativo ao número de fios por dm.

- Repete-se todo este procedimento, para todos os provetes.

2.3.4. Resistência ao *edgecomb*

O ensaio de *edgecomb* está relacionado com a tendência relativa que um tecido apresenta na rutura, quando sujeito à tensão da costura ou ação semelhante, o que é fator fulcral para manter a integridade do *airbag* durante a sua implantação.

O ensaio de resistência ao *edgecomb* é efetuado, segundo a norma ASTM D 6479[18].

i) Preparação dos provetes

- Ao longo do comprimento e da diagonal do tecido revestido, recolher 5 provetes à teia e trama.
- Desfiar os provetes recolhidos com uma agulha, de modo a que o provete fique com a mesma quantidade do número de fios ao longo do comprimento do mesmo.

ii) Execução do ensaio no equipamento

- Colocar uma extremidade do provete no acessório *edgecomb* (figura 13a) e a outra extremidade na mandíbula da máquina de tração, como representado na figura 13b.



Figura 13: a) Acessório de *edgecomb*. b) Colocação do provete para execução do ensaio de *edgecomb*.

- Garantir que a força do equipamento está a zero e dar início ao ensaio.
- Assim que o ensaio terminar, é obtido o resultado da força de rutura em N.
- Repete-se todo este procedimento, para todos os provetes.

2.3.5. Peso total

O ensaio peso total, permite determinar a massa total (tecido base + revestimento) em gramas (g) por m² de amostra. Assim, é possível conferir se a quantidade de revestimento que a amostra apresenta, está de acordo à especificação.

O ensaio do peso é efetuado segundo a norma ISO 3801[19].

i) Preparação dos provetes

- Ao longo do comprimento e da diagonal do tecido revestido, recolher 3 provetes à teia e trama.

ii) Execução do ensaio no equipamento

- Tarar a balança e introduzir os provetes. Registrar o resultado do peso total do provete em g/m^2 .

- Repete-se todo este procedimento, para todos os provetes.

2.3.6. Resistência à abrasão

Este ensaio consiste em verificar a resistência à abrasão que um tecido revestido apresenta, estando relacionado com a capacidade do tecido resistir ao desgaste causado por fricção, que tende a remover progressivamente o revestimento presente à superfície.

O ensaio da resistência à abrasão é efetuado segundo a norma ISO 5981[20].

i) Preparação dos provetes

- Ao longo do comprimento e da diagonal do tecido revestido, recolher 3 provetes à teia e trama.

ii) Execução do ensaio no equipamento

- Colocar dois provetes de cada vez no equipamento de *scrub*, de acordo com a figura 14a.

- Programar o equipamento com o número de ciclos (*strokes*), de acordo à especificação para cada tecido e dar início ao teste (figura 14b).

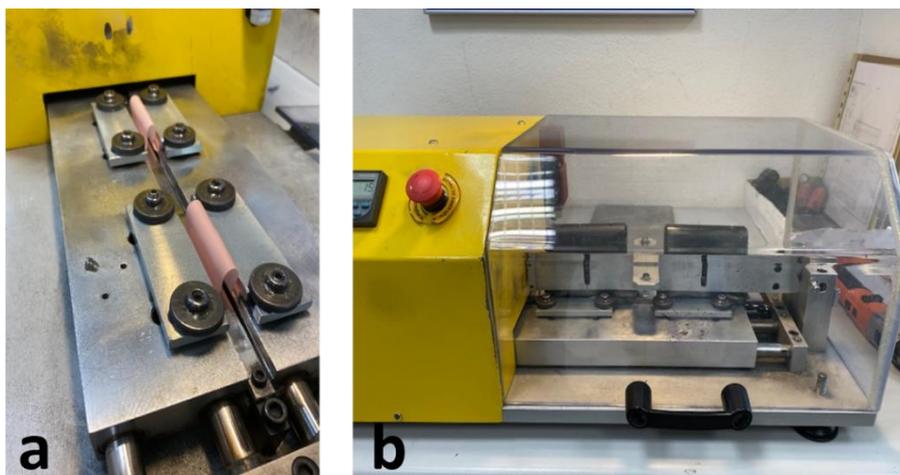


Figura 14: a) Colocação dos provetes no equipamento scrub. b) Realização do ensaio de resistência à abrasão.

- Quando o ensaio estiver concluído, verificar a olho nu e com auxílio de luz se houve remoção do recobrimento no tecido.

- Repete-se todo este procedimento, para todos os provetes.

2.3.7. Força de rasgo

Neste ensaio, pretende-se avaliar a resistência do tecido quando este é sujeito a uma rutura, determinando assim a força necessária para promover o rasgo.

O ensaio força de rasgo, é realizado segundo a norma ISO 13937-2[21].

i) Preparação dos provetes

- Ao longo do comprimento e da diagonal do tecido revestido, recolher 3 provetes à teia e trama.

- Cortar o provete ao meio, como demonstrado na figura 15.



Figura 15: Corte do provete para efetuar o ensaio da força de rasgo.

ii) Execução do ensaio no equipamento

- Colocar metade do provete na mandíbula inferior e a outra metade na superior, da máquina de tração, como apresentado na figura 16.



Figura 16: Colocação do provete na máquina de tração.

- Ter em atenção se a força da máquina de tração se encontra a zeros e dar início ao teste.
- Assim que o teste terminar, registar o valor da força de rasgo em N.
- Repete-se todo este procedimento, para todos os provetes.

2.3.8. Rigidez

O ensaio da rigidez, permite determinar a força de rigidez que a amostra revestida apresenta. Este valor necessita de ser controlado e estar entre as especificações definidas, de modo a evitar contratempos na montagem do módulo de *airbag*. Caso a força de rigidez seja demasiado elevada, posteriormente haverá dificuldades em incorporar o saco no interior do módulo.

O teste da rigidez é realizado segundo a norma ASTM D 4032[22].

i) Preparação dos provetes

- Ao longo do comprimento e da diagonal do tecido revestido, recolher 3 provetes à teia e trama.
- Vincar o provete, dobrando a meio, ficando o lado do provete que contém a camada de revestimento para dentro (figura 17).



Figura 17: Vincar o provete para a realização do ensaio da rigidez.

ii) Execução do ensaio no equipamento

- Colocar o provete no dinamómetro e verificar se o aparelho apresenta a força a zero antes de dar início ao ensaio (figura 18).



Figura 18: Colocação do provete no dinamómetro, para a posterior execução do ensaio.

- Ativar o equipamento e registar o resultado da força de rigidez que o provete apresenta em N.

- Repete-se todo este procedimento, para todos os provetes.

3. Apresentação e discussão de resultados

3.1. Análises diárias de controlo de qualidade

O trabalho desenvolvido pelo laboratório de controlo de qualidade é um elemento fundamental para garantir a qualidade do produto, averiguando se os valores obtidos nos ensaios encontram-se dentro dos limites de especificação, e posteriormente, deliberar se o tecido pode ser utilizado na produção.

Nesta secção são apresentados os valores obtidos para os diferentes métodos de ensaio aplicados em análise de rotina, ao tecido recoberto.

Como são testadas várias referências de tecido recoberto, optou-se por seleccionar apenas uma referência para apresentar os dados das análises de rotina e apenas os resultados de alguns dos lotes testados dessa mesma referência, para exemplificar a variedade de resultados que podem ser obtidos, assim como para simplificar a apresentação e discussão dos resultados.

Além disso, também são apresentadas cartas de controlo de médias ou indivíduos, para cada ensaio, de modo a concluir acerca da variação do processo de recobrimento para uma dada referência. Para a construção destas cartas de controlo, foram analisados ao longo do tempo, 76 lotes e registado o respetivo resultado obtido para cada tipo de ensaio e lote. São retirados de cada lote, provetes para serem submetidos aos diferentes ensaios, de acordo com a informação já referida na secção 2.3. Posteriormente é obtida a média dos resultados para os diferentes provetes para cada ensaio e é esse valor que é incorporado nas cartas de controlo.

Para cada carta de controlo que foi construída, para os diferentes métodos de ensaios são representadas linhas correspondentes aos limites de ação das cartas de controlo de médias ou indivíduos (*upper control limit* (UCL) e *lower control limit* (LCL)) e linhas correspondentes à especificação interna para cada método de ensaio (nominal, limite máximo e limite mínimo). Assim, pelos limites de ação, avaliamos a variação do processo de recobrimento do tecido base e pelas especificações internas, é permitido aferir se os resultados obtidos nos ensaios se encontram dentro dos limites e assim verificar a conformidade do tecido revestido, de modo a poder avançar para o processo de produção do saco do módulo *airbag*.

3.1.1. Tração e alongamento

De seguida, nas figuras 19 e 20, são apresentadas as cartas de controlo elaboradas para os resultados obtidos no ensaio de tração, e nas figuras 21 e 22, o respetivo alongamento, à teia e trama, para o tecido revestido.

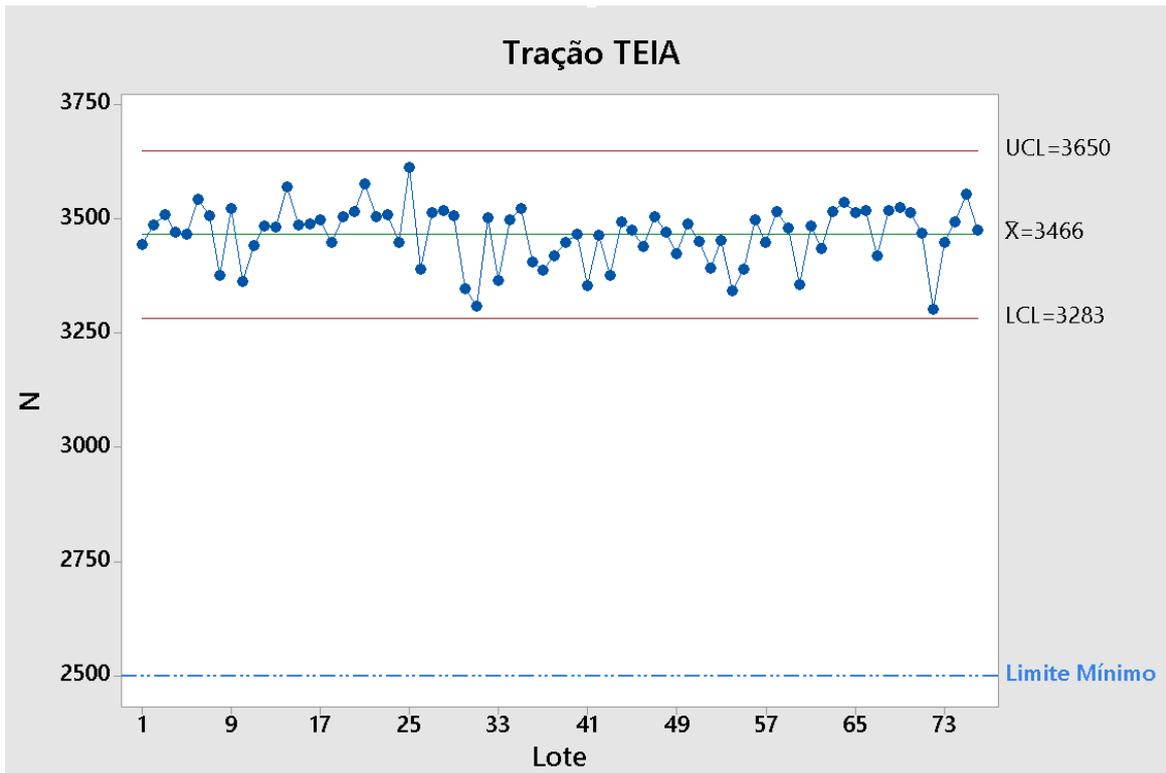


Figura 19: Carta de controlo de médias ou indivíduos para o ensaio de tração, à teia.

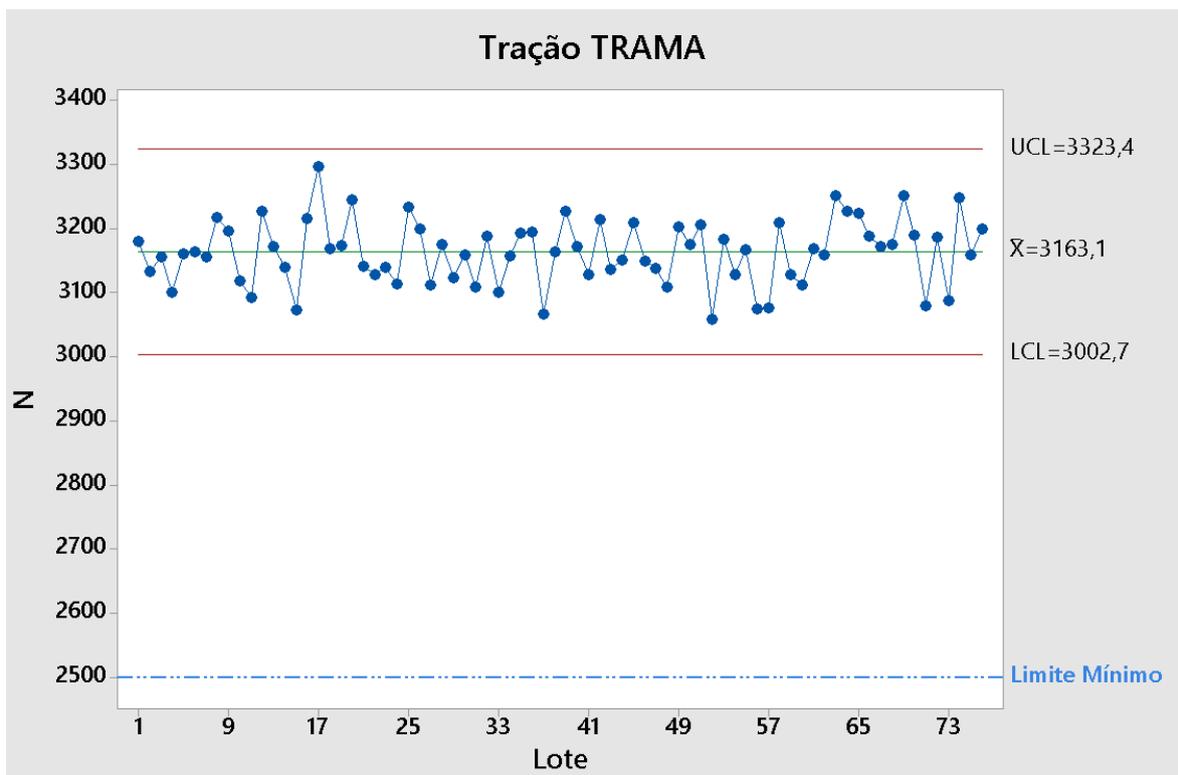


Figura 20: Carta de controlo de médias ou indivíduos para o ensaio de tração, à trama.

De acordo com as cartas de controlo apresentadas anteriormente, relativas ao ensaio de tração verifica-se que os resultados encontram-se dentro dos limites das especificações internas (>2500 N), quer à teia, quer à trama.

Quanto à distribuição dos valores obtidos, relativamente às linhas de ação da carta de controlo e ao valor médio das determinações, verifica-se que ocorreram pequenos desvios ao valor médio, quer no sentido ascendente ou descendente, mas não ultrapassam os valores delimitados pelas linhas de controlo, o que demonstra uma certa estabilidade no processo de revestimento do tecido base, quanto aos resultados obtidos ao longo do tempo, para o ensaio de tração.

Além disso, também é possível aferir que os resultados obtidos para a força de tração à teia são ligeiramente superiores à trama, isto é, a orientação dos fios segundo a teia apresenta uma maior resistência à tração do que à trama. Esta diferença, verifica-se devido aos limites da especificação para a densidade linear à teia (190 a 210 1/dm), serem ligeiramente superiores à trama (180 a 200 1/dm).

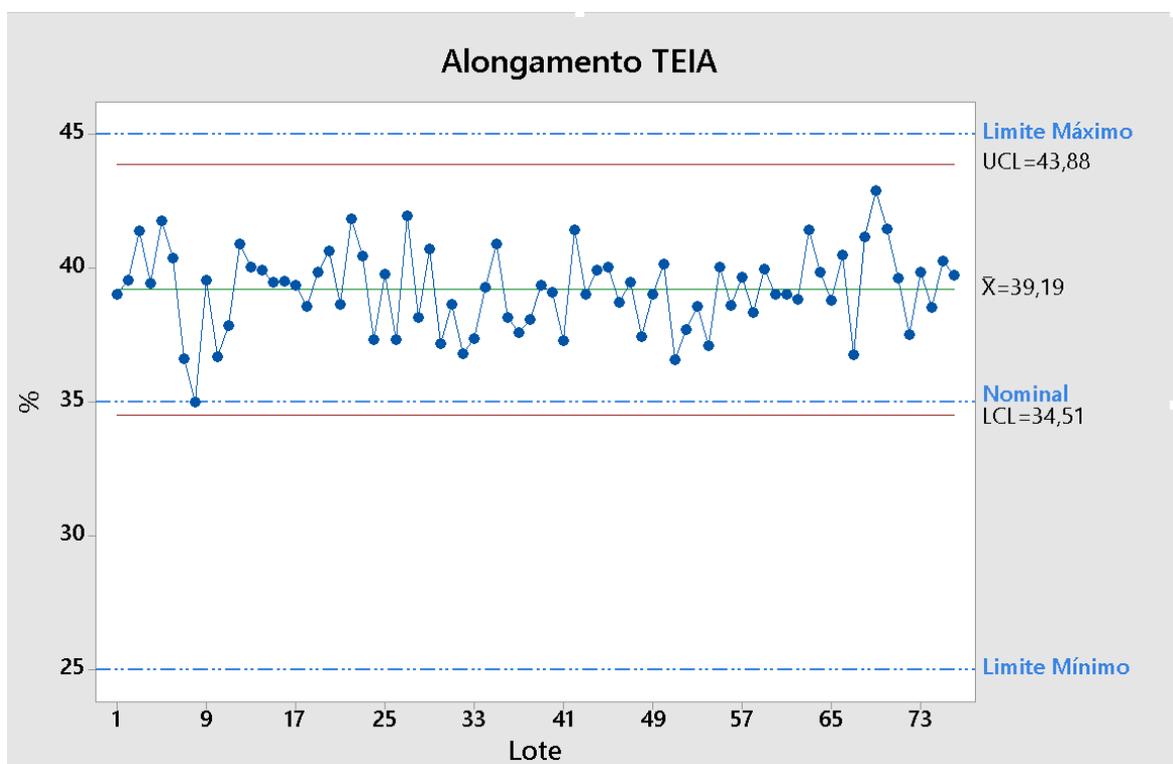


Figura 21: Carta de controlo de médias ou indivíduos para o ensaio de alongamento, à teia.

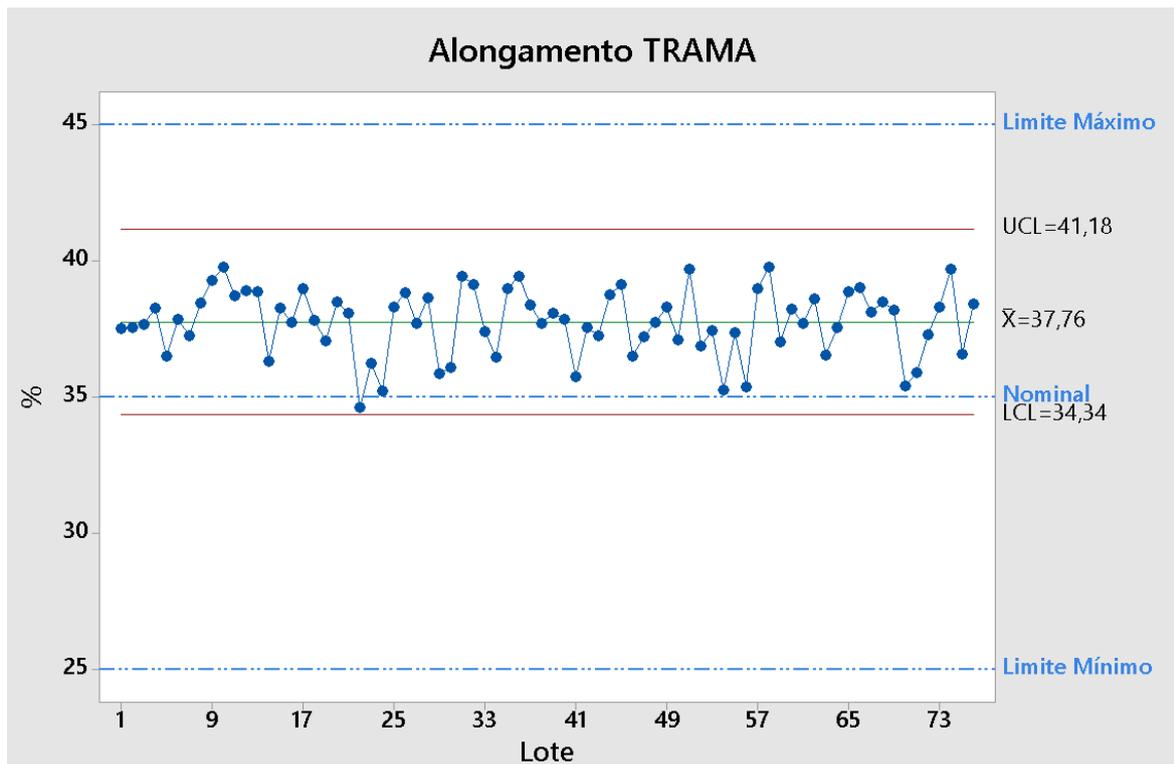


Figura 22: Carta de controle de médias ou indivíduos para o ensaio de alongamento, à trama.

De acordo com as cartas de controle apresentadas anteriormente, relativas ao ensaio de alongamento verifica-se que os resultados encontram-se dentro dos limites das especificações internas, quer à teia, quer à trama ($35 \pm 10\%$).

Quanto à distribuição dos valores obtidos, relativamente às linhas de ação da carta de controle e ao valor médio das determinações, verifica-se que os resultados não ultrapassam os valores delimitados pelas linhas de controle, o que demonstra uma certa estabilidade no processo de revestimento do tecido base, quanto aos resultados obtidos ao longo do tempo, para o ensaio de alongamento.

Além disso, também é possível aferir que os resultados obtidos à trama, estão mais próximos do valor médio das determinações e que assim existem menos oscilações em volta do valor médio em direção aos limites de ação, o que demonstra que no caso do alongamento à trama, mantém-se uma maior concordância ao longo do processo e assim uma menor variação entre os resultados obtidos.

3.1.2. Inflamabilidade

De seguida, nas figuras 23 e 24, são apresentadas as cartas de controle elaboradas para os resultados obtidos no ensaio de inflamabilidade, à teia e trama, respetivamente.

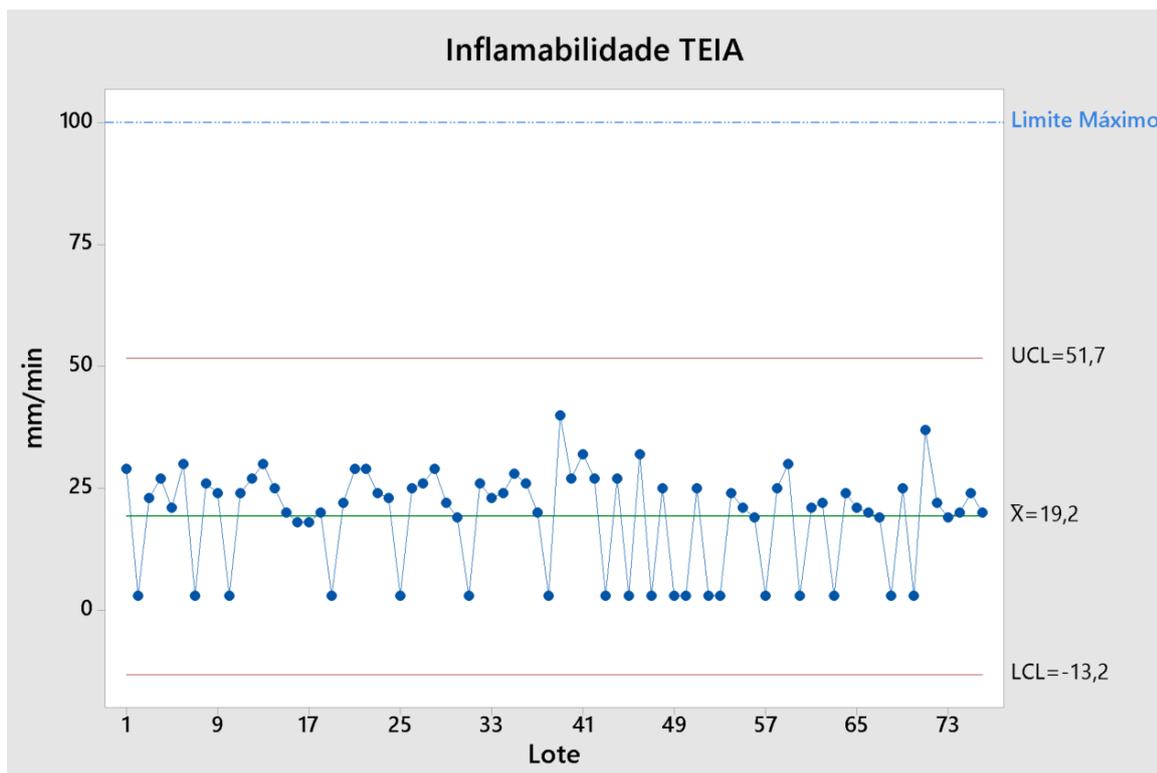


Figura 23: Carta de controle de médias ou indivíduos para o ensaio de inflamabilidade, à teia.

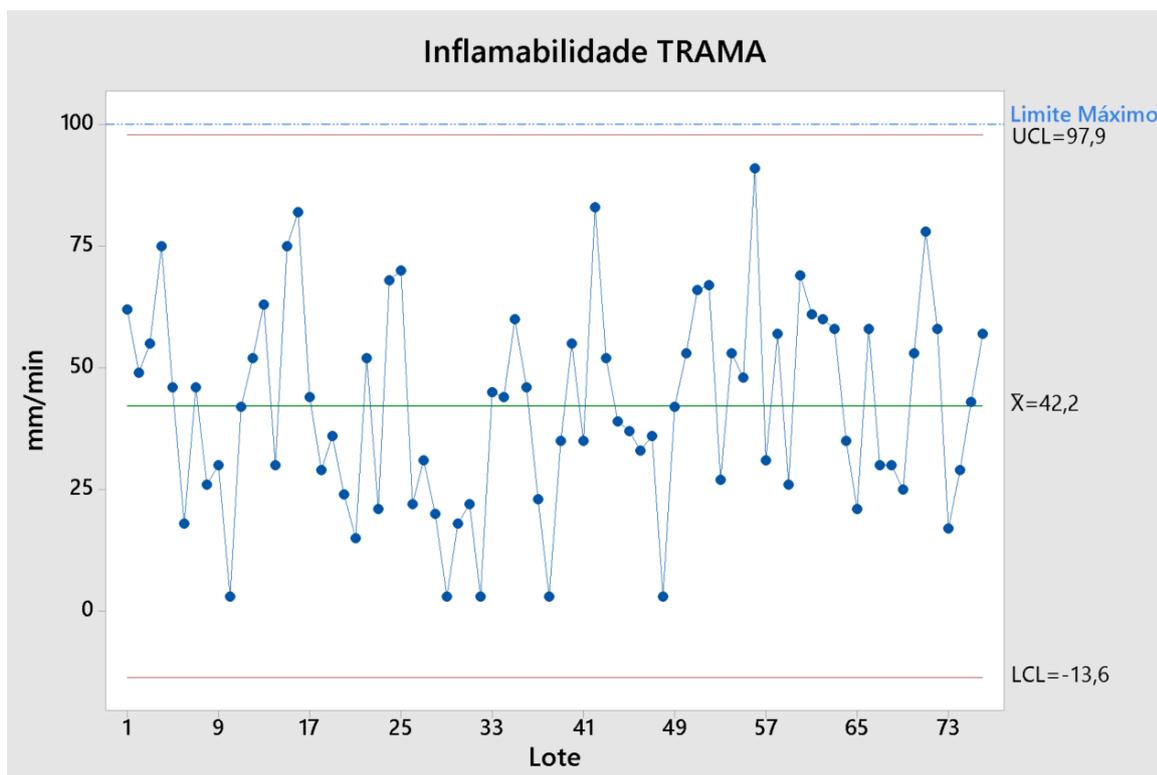


Figura 24: Carta de controle de médias ou indivíduos para o ensaio de inflamabilidade, à trama.

De acordo com as cartas de controle apresentadas anteriormente, relativas ao ensaio de inflamabilidade verifica-se que os resultados encontram-se dentro dos limites das especificações internas (<100 mm/min), quer à teia, quer à trama.

Quanto à distribuição dos valores obtidos, relativamente às linhas de ação da carta de controlo e ao valor médio das determinações, não ultrapassam os valores delimitados pelas linhas de controlo, o que demonstra uma certa estabilidade no processo de revestimento do tecido base, quanto aos resultados obtidos ao longo do tempo, para o ensaio de inflamabilidade.

Além disso, também é possível aferir que os resultados obtidos à teia, estão mais próximos do valor médio das determinações e que assim existem menos oscilações em volta do valor médio em direção aos limites de ação, o que demonstra que no caso da inflamabilidade à teia, mantém-se uma maior concordância ao longo do processo e assim uma menor variação entre os resultados obtidos.

3.1.3. Densidade Linear

De seguida, na figura 25 e 26, são apresentadas as cartas de controlo elaboradas para os resultados obtidos no ensaio de densidade linear, à teia e trama, respetivamente, para o tecido revestido.

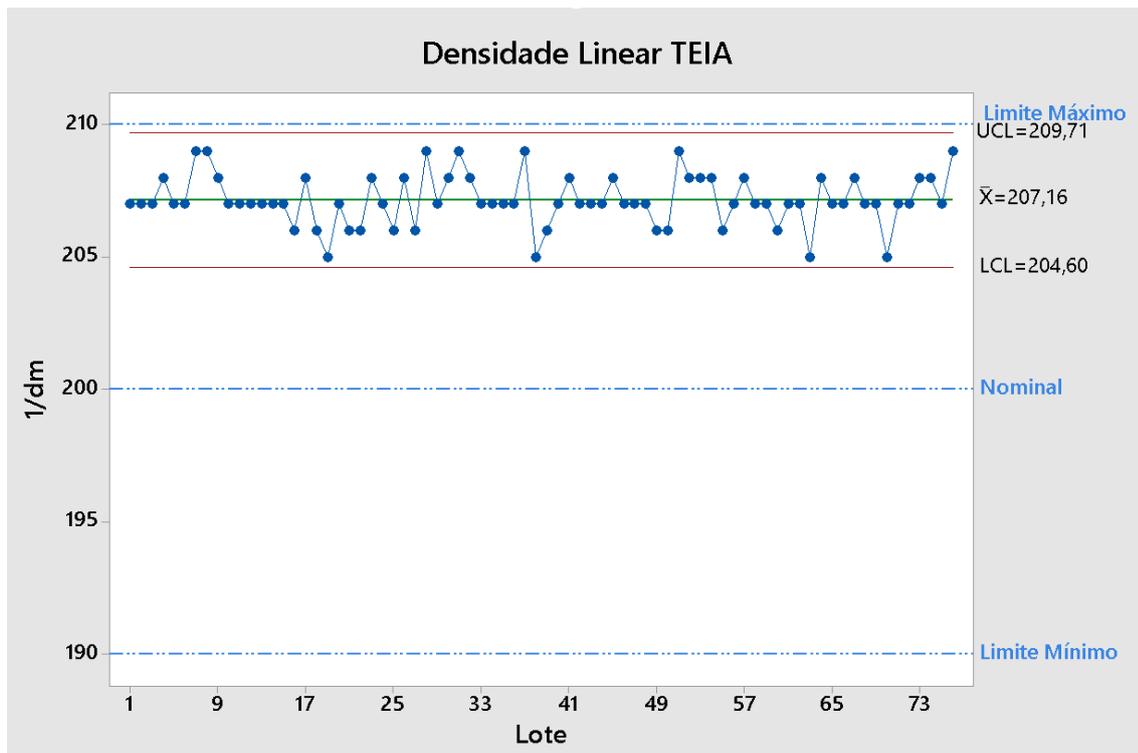


Figura 25: Carta de controlo de médias ou indivíduos para o ensaio densidade linear, à teia.

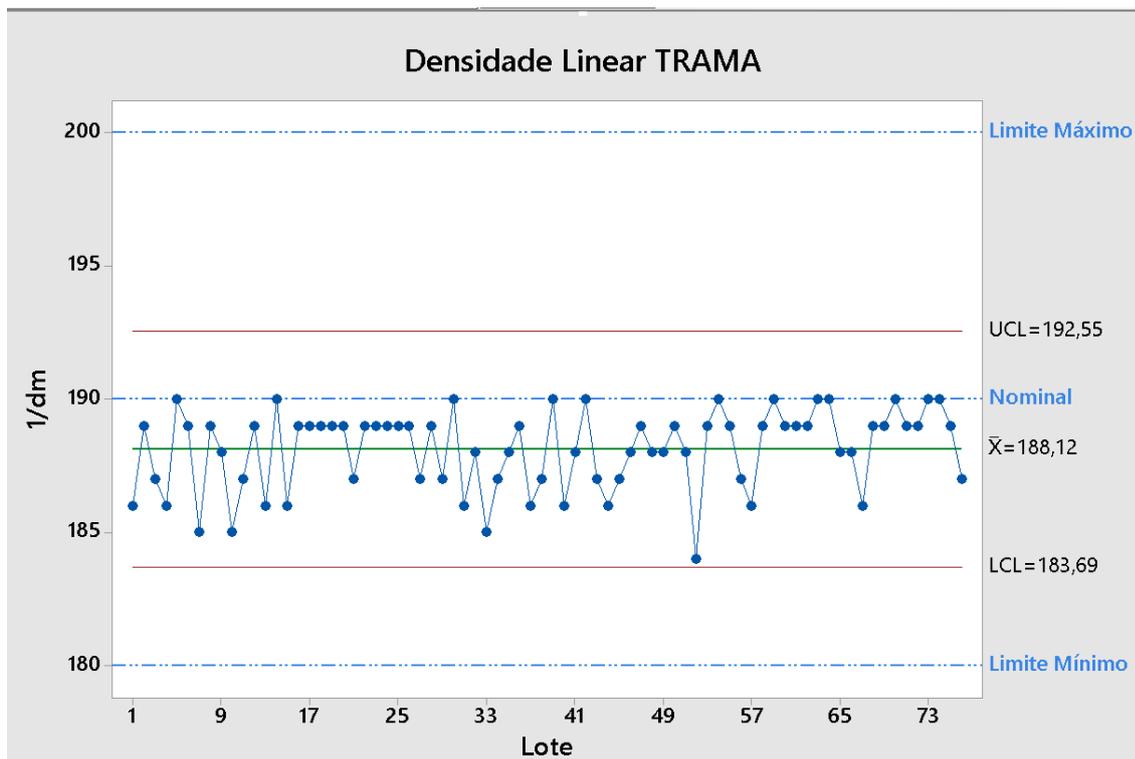


Figura 26: Carta de controle de médias ou indivíduos para o ensaio de densidade linear, à trama.

De acordo com as cartas de controle apresentadas anteriormente, verifica-se que os resultados encontram-se dentro dos limites das especificações internas, quer à teia (200 ± 10 1/dm) e à trama (190 ± 10 1/dm). No entanto, verifica-se que os resultados da densidade linear à teia, encontram-se mais próximos do limite máximo da especificação e mais afastado do designado como nominal, enquanto que à trama, é possível observar que os valores encontram-se mais distribuídos junto ao valor designado como nominal. O que justifica esta diferença, é que ao longo do processo de revestimento do tecido base, este encolhe, por ser submetido a altas temperaturas e assim, ao medir a densidade linear no tecido revestido este vai possuir maior quantidade de fios por dm.

Quanto à distribuição dos valores obtidos, relativamente às linhas de ação da carta de controle e ao valor médio das determinações, verifica-se que ocorreram pequenos desvios ao valor médio, quer no sentido ascendente ou descendente, mas não ultrapassam os valores delimitados pelas linhas de controle, o que demonstra uma certa estabilidade no processo de revestimento do tecido base, quanto à densidade linear do tecido.

Além disso, também é possível aferir que na densidade linear à teia (figura 25), há uma menor oscilação dos resultados relativamente à média das determinações, o que demonstra que no caso do número de fios à teia por dm, mantém-se uma maior concordância ao longo do processo e assim uma menor variação entre os resultados obtidos.

3.1.4. Resistência ao *edgecomb*

De seguida, nas figuras 27 e 28, são apresentadas as cartas de controlo elaboradas para os resultados obtidos no ensaio de resistência ao *edgecomb*, à teia e trama, respetivamente.

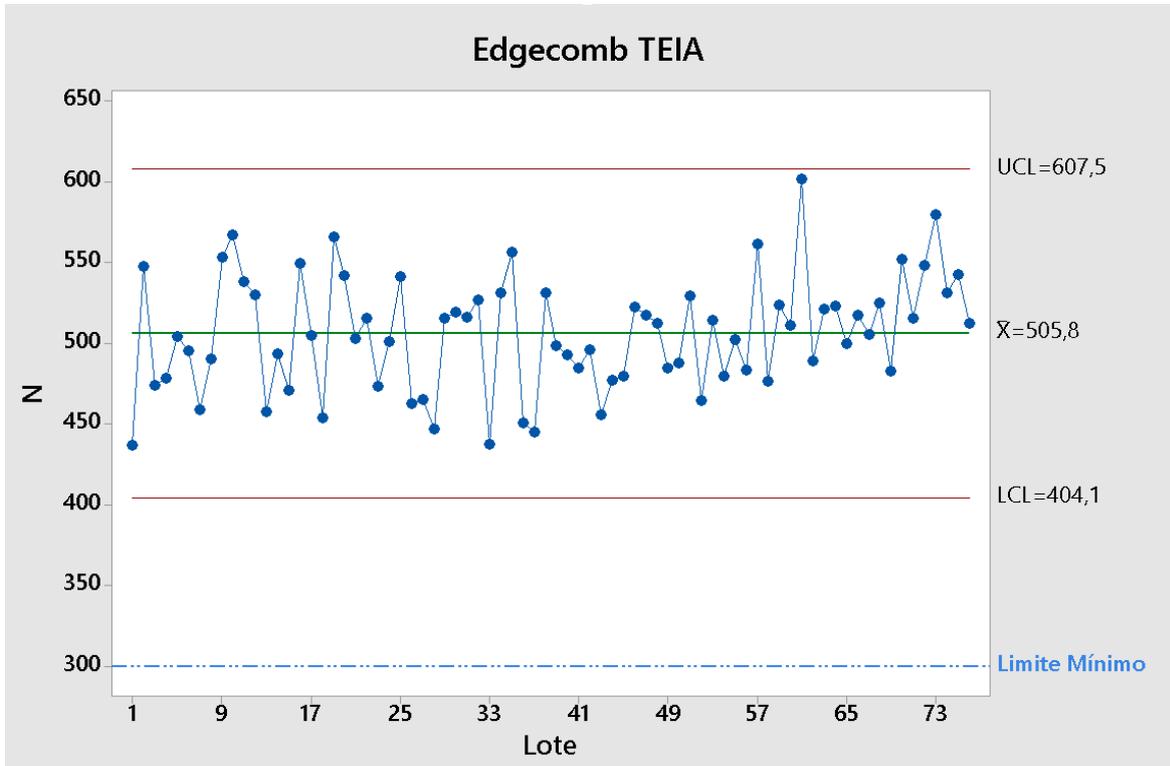


Figura 27: Carta de controlo de médias ou indivíduos para o ensaio de resistência ao *edgecomb*, à teia.

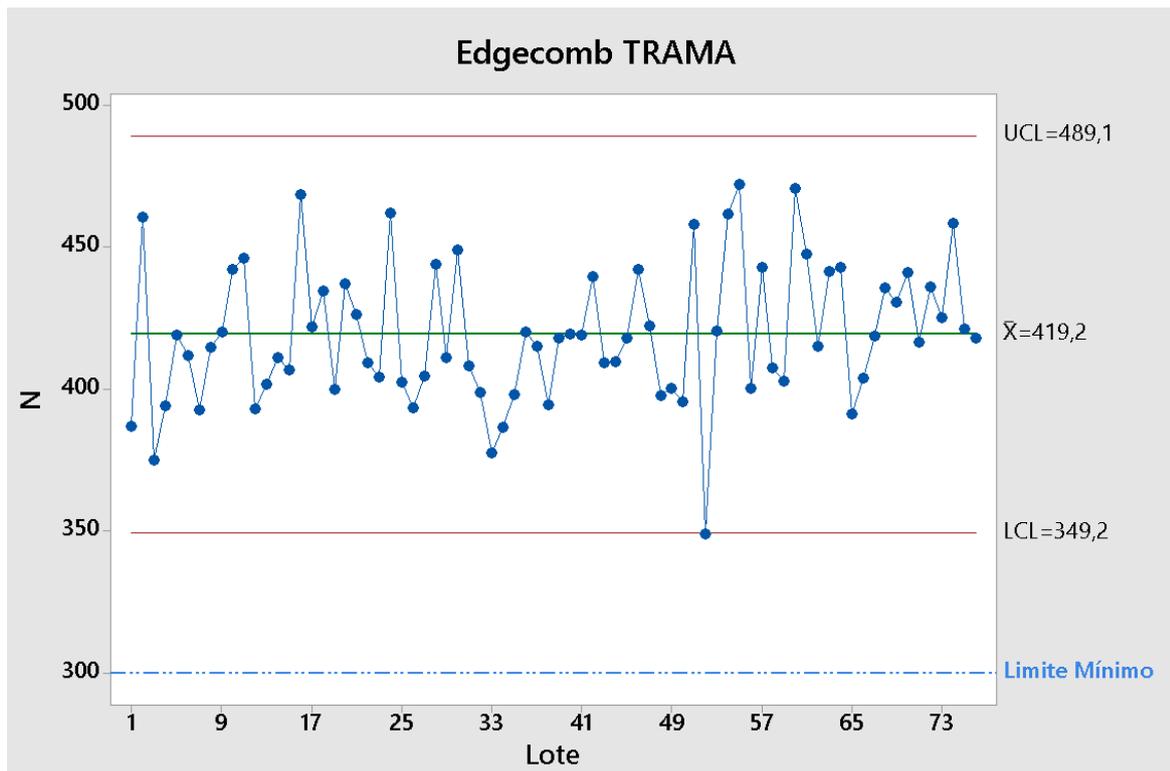


Figura 28: Carta de controle de médias ou indivíduos para o ensaio de resistência ao edgecomb, à trama.

De acordo com as cartas de controle apresentadas anteriormente, verifica-se que os resultados encontram-se dentro dos limites das especificações internas, quer à teia, quer à trama (>300 N). No entanto, verifica-se que os resultados à teia, atingem valores superiores de força de ruptura, o que significa que a orientação dos fios à teia apresentam uma maior resistência à ruptura, quando sujeitos à tensão da costura.

Quanto à distribuição dos valores obtidos, relativamente às linhas de ação da carta de controle e ao valor médio das determinações, verifica-se que ocorreram desvios ao valor médio, quer no sentido ascendente ou descendente, mas não ultrapassam os valores delimitados pelas linhas de controle, o que demonstra uma certa estabilidade no processo de revestimento do tecido base, quanto aos resultados obtidos através do ensaio de *edgecomb*.

Além disso, também é possível aferir que nos resultados obtidos à teia (figura 27), há uma menor oscilação dos resultados relativamente à média das determinações, o que demonstra que no caso da força de ruptura a que o provete é submetido no ensaio de *edgecomb*, na orientação dos fios à teia mantém uma maior concordância ao longo do processo e assim uma menor variação entre os resultados obtidos.

3.1.5. Peso total

De seguida, na figura 29, é apresentada a carta de controlo elaborada para os resultados obtidos, no ensaio de peso total.

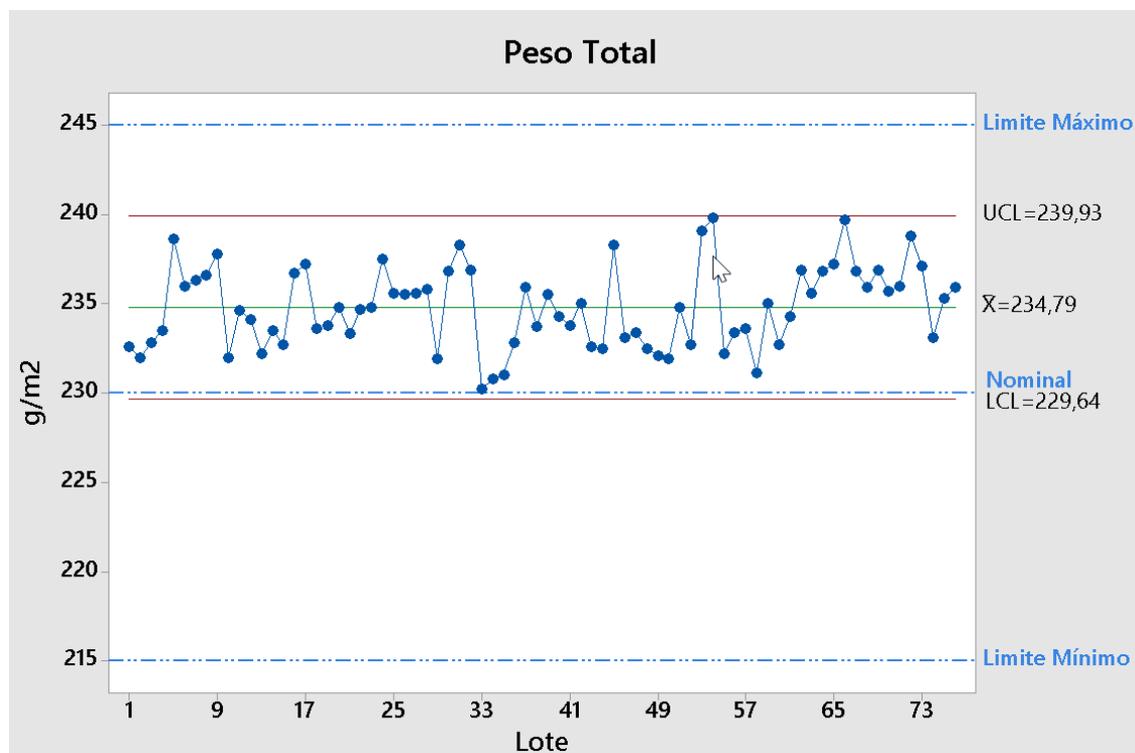


Figura 29: Carta de controlo de médias ou indivíduos para o ensaio de peso total.

De acordo com a carta de controlo apresentada anteriormente, verifica-se que os resultados encontram-se dentro dos limites das especificações internas (230 ± 15 g/m²).

Quanto à distribuição dos valores obtidos, relativamente às linhas de ação da carta de controlo e ao valor médio das determinações, verifica-se que ocorreram pequenos desvios ao valor médio, quer no sentido ascendente ou descendente, mas não ultrapassam os valores delimitados pelas linhas de controlo, o que demonstra uma certa estabilidade no processo de revestimento do tecido base, quanto à quantidade de revestimento aplicada no tecido.

3.1.6. Força de rasgo

De seguida, nas figuras 30 e 31, são apresentadas as cartas de controlo elaboradas para os resultados obtidos no ensaio de rasgo, à teia e trama, respetivamente.

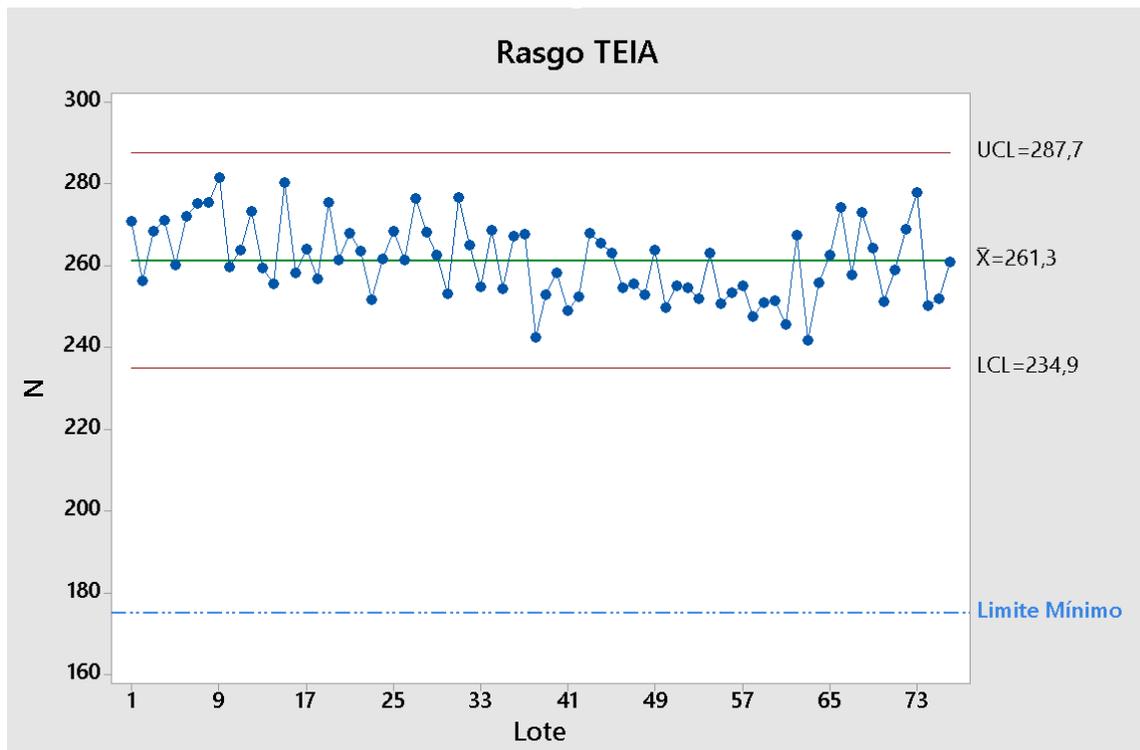


Figura 30: Carta de controle de médias ou indivíduos para o ensaio de rasgo, à teia.

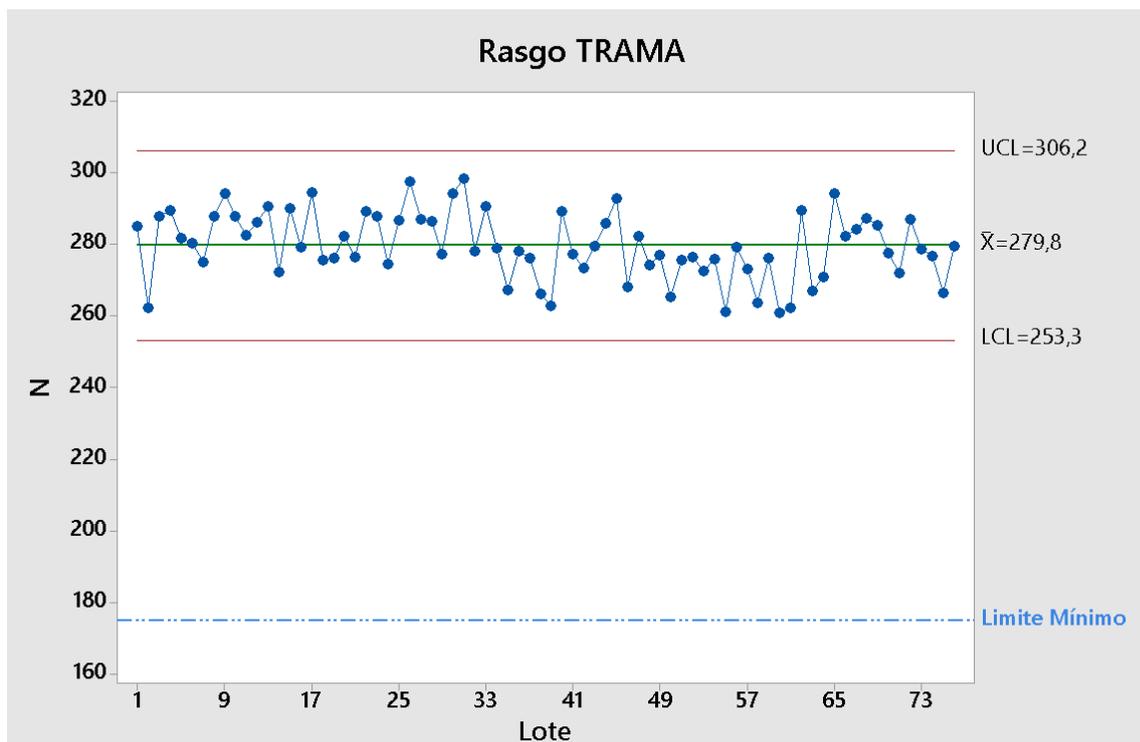


Figura 31: Carta de controle de médias ou indivíduos para o ensaio de rasgo, à trama.

De acordo com as cartas de controle apresentadas anteriormente, verifica-se que os resultados encontram-se dentro dos limites das especificações internas, quer à teia, quer à trama (>175 N).

Quanto à distribuição dos valores obtidos, relativamente às linhas de ação da carta de controlo e ao valor médio das determinações, verifica-se que ocorreram desvios ao valor médio, quer no sentido ascendente ou descendente, mas não ultrapassam os valores delimitados pelas linhas de controlo, o que demonstra uma certa estabilidade no processo de revestimento do tecido base, quanto aos resultados obtidos através do ensaio de rasgo.

3.1.7. Rigidez

De seguida, nas figuras 32 e 33, são apresentadas as cartas de controlo elaboradas para os resultados obtidos no ensaio de rigidez, à teia e trama, respetivamente.

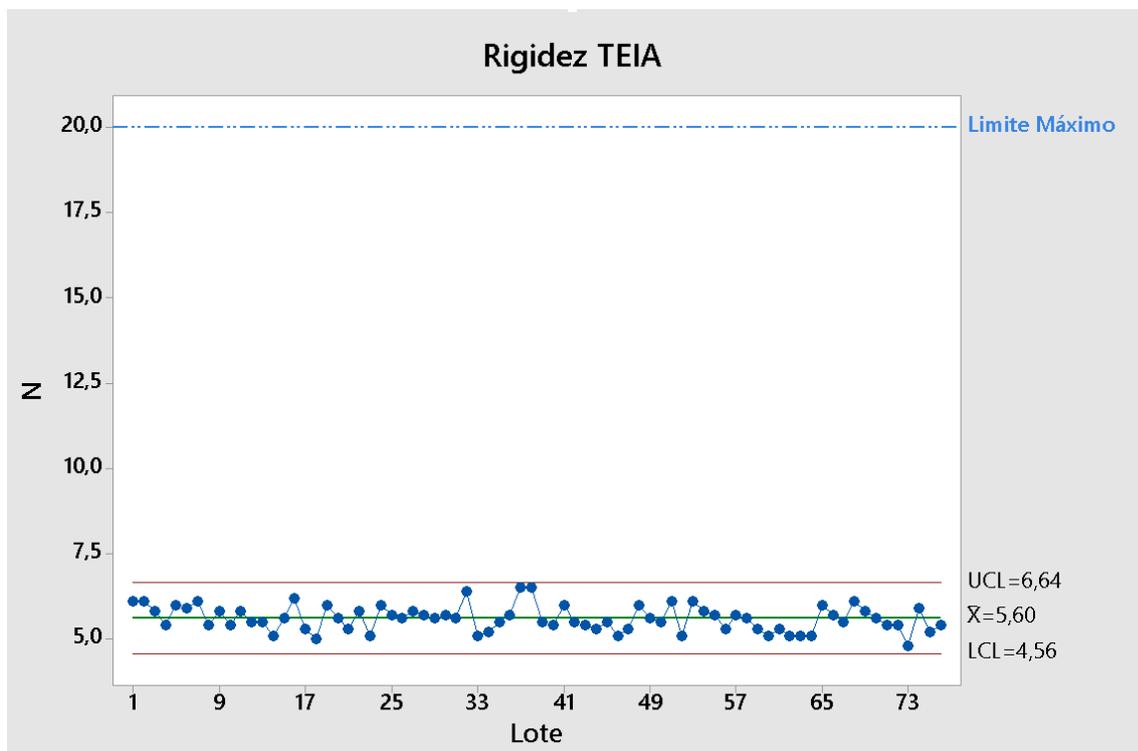


Figura 32: Carta de controlo de médias ou indivíduos para o ensaio de rigidez, à teia.

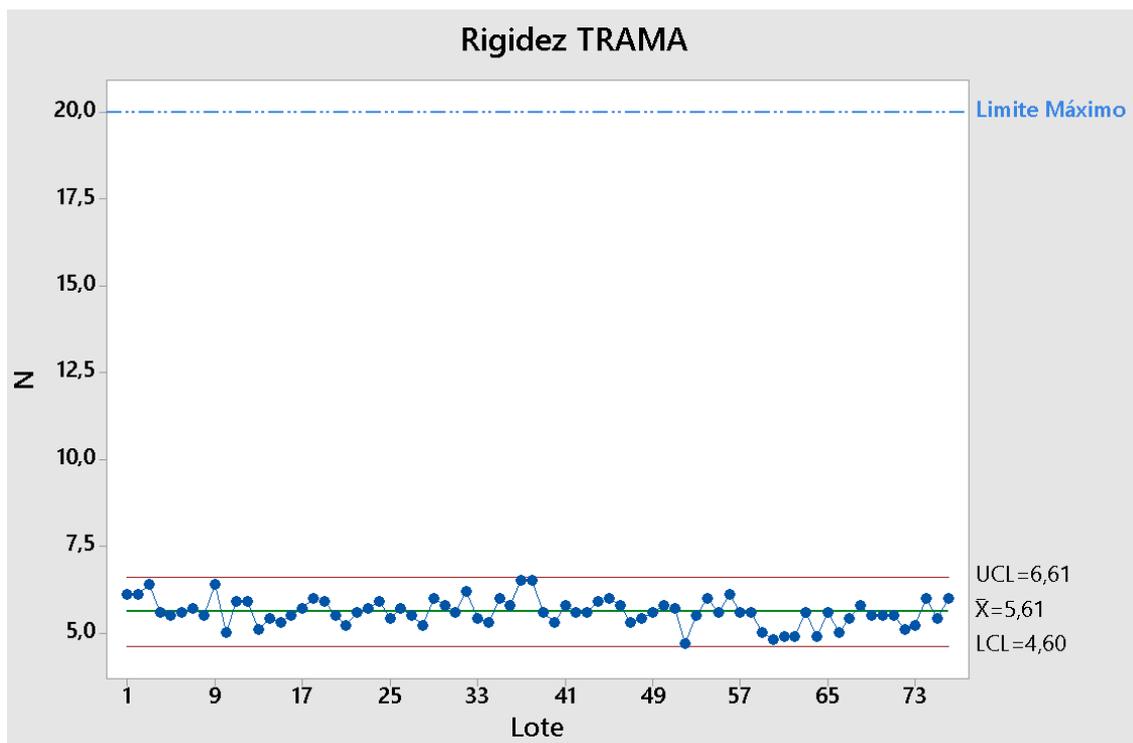


Figura 33: Carta de controle de médias ou indivíduos para o ensaio de rigidez, à trama.

De acordo com as cartas de controle apresentadas anteriormente, verifica-se que os resultados encontram-se dentro dos limites das especificações internas, quer à teia, quer à trama (<20 N).

Quanto à distribuição dos valores obtidos, relativamente às linhas de ação da carta de controle e ao valor médio das determinações, verifica-se que ocorreram desvios ao valor médio, quer no sentido ascendente ou descendente, mas não ultrapassam os valores delimitados pelas linhas de controle, o que demonstra uma certa estabilidade no processo de revestimento do tecido base, quanto aos resultados obtidos através do ensaio de rigidez aplicado ao tecido revestido.

3.2. Validação de métodos analíticos

Durante a elaboração da tese de mestrado, foi realizada a validação de alguns métodos de ensaio aplicados no controle de qualidade, como o peso total e a densidade linear. Foram avaliados os parâmetros de desempenho adequados, para os tipos de ensaio em causa, como por exemplo a precisão e a robustez.

3.2.1. Densidade linear

A validação do ensaio da densidade linear foi avaliada através da precisão e da robustez do método.

Precisão

A determinação da precisão foi efetuada segundo a ANOVA, avaliando a repetibilidade e precisão intermédia do método através do coeficiente de variação de repetibilidade (CV_r) e do de precisão intermédia (CV_i), respetivamente. Para efetuar este estudo, mediu-se a densidade linear diretamente no tecido, à teia e trama, em 6 zonas diferentes, ao longo de cinco dias, cujos resultados são apresentados na tabela 5 e 7, que se encontram no anexo I, respetivamente.

De acordo, com o coeficiente de variação de repetibilidade obtido para a teia ($CV_r = 0,22\%$) e trama ($CV_r = 0,21\%$) é possível concluir que o método de ensaio da densidade linear, é preciso em condições de repetibilidade, tanto quando aplicado na orientação à teia, como à trama.

De acordo, com o coeficiente de variação de precisão intermédia obtido para a teia ($CV_i = 0,26\%$) e trama ($CV_i = 0,22\%$) é possível concluir que o método de ensaio da densidade linear, é preciso em condições de precisão intermédia, isto é, o ensaio demonstra ser preciso, apesar de ser aplicado em dias diferentes, tanto quando aplicado na orientação à teia, como à trama.

Robustez

Na avaliação da robustez do método, avaliaram-se o efeito de três parâmetros, suscetíveis de influenciarem os resultados finais, conforme se encontra apresentado na tabela 9, do anexo II.

Elaborou-se o *design plackett burman*, de modo a estabelecer 4 ensaios a realizar para estudar a robustez, conforme já descrito na figura 7 da secção 1.4.2. Realizaram-se 3 réplicas independentes para cada ensaio apresentado no *design* e registaram-se os respetivos resultados obtidos para o ensaio da densidade linear, à teia e trama, apresentados na tabela 10, do anexo II.

Após se ter obtido os resultados, determinou-se a influência de cada fator testado. Para isso, calculou-se o efeito correspondente a cada fator (R), como apresentado na tabela 11, do anexo II.

Com os resultados obtidos para o efeito de cada fator, é possível aferir que o fator que tem mais influência na resposta do método é a zona de medição, seguido do tempo de acondicionamento e este último seguido do modo de medição. Esta ordenação decrescente de influência dos fatores, é baseada pela ordenação dos valores de R obtidos para os diferentes fatores testados, em valor absoluto.

De modo a confirmar se realmente as variações aplicadas aos fatores em estudo, nos ensaios elaborados apresentavam variações significativas na resposta gerada aplicou-se testes de significância entre o ensaio 1 e 2, o 1 e 3 e o 1 e 4. O procedimento realizado para os testes de significância, bem como os resultados, encontram-se no anexo II.

A conclusão que foi possível ser retirada destes testes significância foi que o ensaio 1 e 3 e 1 e 4 diferiam significativamente entre si e o ensaio 1 e 2 não diferiam significativamente. O que vai de encontro à informação que já tinha sido retirada pela ordenação da influência dos fatores por ordem decrescente, pois o ensaio 3 e 4, são os que se alterou a zona de medição, isto é, mediu-se a densidade linear na margem do tecido, enquanto que o ensaio 2 mediu-se no centro (valor nominal), como se procedeu no ensaio 1. Assim, é possível aferir que a zona de medição é o fator que tem uma maior influência nos resultados obtidos através do método de ensaio e deste modo, deve ser mais rigorosamente controlado.

Apenas se procedeu ao estudo da influência de cada fator, bem como os testes de significância apenas para os ensaios realizados à teia, uma vez que, foi possível verificar que os resultados obtidos para os diferentes ensaios à trama, se mantinham sempre iguais, não havendo oscilações nos resultados obtidos para os diferentes fatores testados. Assim, é possível aferir que no caso da execução do ensaio da densidade linear, na orientação dos fios à trama, não é influenciada por diferentes alterações aplicadas no procedimento habitual, como a zona de medição, modo de medição e tempo de acondicionamento. Sendo por isso, o método da densidade linear, aplicado à trama, robusto.

3.2.2. Peso total

A validação do ensaio peso total foi avaliada através da precisão do método.

A determinação da precisão foi efetuada segundo a ANOVA, avaliando a repetibilidade do método através do coeficiente de variação de repetibilidade (CV_r). Para efetuar este estudo, aplicou-se seis réplicas de uma amostra, ao longo de cinco dias, cujos resultados são apresentados na tabela 13, que se encontra no anexo III. De acordo, com o coeficiente de variação de repetibilidade obtido ($CV_r = 0,61\%$), é possível concluir que o método de ensaio do peso total, é preciso em condições de repetibilidade.

Não é apresentado, o coeficiente de variação de precisão intermédia, uma vez que, há maior variação entre os resultados dentro de grupos (para o mesmo dia) do que entre grupos (entre diferentes dias). Assim, verificamos que o fator dia, não influencia os resultados obtidos para o método de ensaio do peso total.

3.3. Estudo de caso

3.3.1. Densidade linear – comparação entre a medição da densidade no provete e diretamente no tecido revestido

De modo a reforçar as conclusões retiradas, dos resultados do teste da robustez, analisou-se a densidade linear em 6 zonas diferentes diretamente sobre o tecido e em 6 provetes retirados de 6 zonas diferentes,

no centro da amostra de tecido revestido, segundo a orientação dos fios à teia e trama. Posteriormente, aplicou-se testes de significância, de modo a conferir se a medição da densidade linear diretamente sobre o tecido e ao ser medido diretamente nos provetes, diferiam significativamente.

Os resultados das medições efetuadas, destas duas formas diferentes, para as seis réplicas, à teia e trama, encontram-se na tabela 15, do anexo IV, bem como os resultados dos testes de significância.

De acordo, com os testes de significância realizados, foi possível aferir que a medição efetuada diretamente no tecido e no provete não são significativamente diferentes, o que vai de encontro às conclusões obtidas no ensaio da robustez, pois verificou-se que o que tinha uma maior influência nos resultados obtidos e que por isso tinha de ser mais rigorosamente controlado, era a zona de medição, isto é, fazer a execução dos ensaios com medições realizadas no centro ou na margem, da amostra de tecido revestido.

3.3.2. Peso total – comparação entre a medição do peso no provete retirado na margem ou no centro do tecido

Foram retirados 6 provetes da amostra de tecido revestido, no centro e na margem, para se proceder à realização do ensaio do peso total. Posteriormente, aplicou-se um teste de significância, de modo a conferir se a medição do peso total no centro e na margem do tecido, diferiam significativamente.

Os resultados das medições efetuadas, nos provetes do centro e da margem, para as seis réplicas, encontram-se na tabela 16, do anexo V, bem como o resultado do teste de significância.

De acordo, com o teste de significância realizado, foi possível aferir que a medição efetuada em provetes retirados do centro e da margem do tecido revestido, são significativamente diferentes, o que vai de encontro às conclusões obtidas no ensaio da robustez, pois verificou-se que o que tinha uma maior influência nos resultados obtidos e que por isso tinha de ser mais rigorosamente controlado, era a zona de medição, isto é, fazer a execução dos ensaios com medições realizadas no centro ou na margem, da amostra de tecido revestido.

3.4. Validação do processo de recobrimento do tecido base

Foi avaliado o processo de recobrimento do tecido base, através do parâmetro da precisão.

A determinação da precisão foi efetuada segundo a ANOVA, avaliando a repetibilidade e precisão intermédia do processo através do coeficiente de variação de repetibilidade (CV_R) e do de precisão intermédia (CV), respetivamente. Para efetuar este estudo, mediu-se o peso total, em 3 provetes, para 11 lotes diferentes, cujos resultados são apresentados na tabela 17 que se encontra no anexo VI.

De acordo, com o coeficiente de variação de repetibilidade obtido ($CV_R = 0,47\%$) é possível concluir que o processo, é preciso em condições de repetibilidade, ou seja dentro de um mesmo lote há uniformidade entre os provetes analisados.

De acordo, com o coeficiente de variação de precisão intermédia obtido ($CV_I = 0,62\%$) é possível concluir que o processo, é preciso em condições de precisão intermédia, isto é, há uma conformidade entre os resultados obtidos para diferentes lotes produzidos.

4. Conclusões

O objetivo principal deste trabalho, foi ficar a conhecer um pouco mais acerca dos Sistemas de Gestão de Qualidade, implementados na indústria automóvel e de todos os processos relacionados com o controlo de qualidade do produto. Além disso, também se pretendeu validar alguns dos métodos de ensaio aplicados nas análises de rotina relativamente ao controlo de qualidade do produto.

Relativamente, aos parâmetros analisados para o tecido revestido, nos métodos de ensaio aplicados e apresentados nas cartas de controlo, é possível verificar que para todos os ensaios, os valores obtidos para diferentes lotes, se encontravam dentro dos limites aceitáveis, de acordo com as especificações internas.

No que respeita à validação dos métodos, foram determinados parâmetros como o coeficiente de variação de repetibilidade e precisão intermédia, para o estudo da precisão, assim como foi também analisada a robustez do método.

Numa análise de precisão intermédia, apenas se fez variar o dia em que se realizaram as análises tendo-se concluído que os métodos são precisos, tanto em condições de repetibilidade, como em condições de precisão intermédia.

No que diz respeito, ao estudo da robustez, foi possível verificar qual o parâmetro que tem maior influência na execução do ensaio da densidade linear e por isso, é o parâmetro que deve ser mais rigorosamente controlado.

Foi possível também fazer uma breve validação, do processo de revestimento, analisando 10 lotes diferentes e obtendo o coeficiente de variação de repetibilidade e precisão intermédia. O processo de recobrimento, demonstrou ser preciso.

A importância da validação rege-se no facto desta ser fundamental para definir se os métodos desenvolvidos se adequam aos objetivos a que se destinam, a fim de obter dados confiáveis que possam ser satisfatoriamente analisados. Assim, é indispensável que os laboratórios disponham de meios e critérios objetivos a fim de demonstrar, por meio de validação, que os métodos de ensaio que executam conduzem a resultados confiáveis e adequados à qualidade pretendida. [12]

A execução deste trabalho, em contexto empresarial, foi muito vantajoso e gratificante, pois permitiu obter uma visão do mundo empresarial e de todas as dificuldades que surgem nesta mesma vertente, permitindo assim ganhar uma maior autonomia na resolução de problemas. Além disso, também foi

possível colocar em prática, conhecimentos adquiridos ao longo do mestrado, tais como a validação de método e o tratamento estatístico de resultados.

5. Bibliografia

- [1] “ZF.” <https://www.zf.com/mobile/en/homepage/homepage.html> (accessed Apr. 06, 2021).
- [2] R. Nayak, R. Padhye, K. Sinnappoo, L. Arnold, and B. K. Behera, “Airbags,” *Text. Prog.*, vol. 45, no. 4, pp. 209–301, 2013, doi: 10.1080/00405167.2013.859435.
- [3] “Airbag Deployments, Non-Deployments and Occupant Safety Issues,” 2010.
- [4] K. Bhasin, “Airbags for safety system in automobile engineering,” *Int. J. Automob. Eng.*, vol. 10, no. 1, pp. 1–6, 2020.
- [5] S. Grishanov, *Structure and properties of textile materials*, vol. 1. Woodhead Publishing Limited, 2011.
- [6] J. Militky, *The chemistry, manufacture and tensile behaviour of polyester fibers*. 2009.
- [7] J. Militký, M. Venkataraman, and R. Mishra, *The chemistry, manufacture, and tensile behavior of polyamide fibers*. 2018.
- [8] A. R. Casiday and R. Frey, “The Chemistry Behind Airbags Stoichiometry and the Gas Constant Experiment,” *Dep. Chem. Washingt. Univ. St. Louis, MO 63130*, vol. 1, p. 8, 2007.
- [9] “APCER group.” <https://apcergroup.com/pt/certificacao/pesquisa-de-normas/136/iatf-16949-2016> (accessed Mar. 16, 2021).
- [10] “SGS.” <https://www.sgs.pt/pt-pt/transportation/automotive/manufacturing/audits-and-certification/quality/iatf-16949-2016-automotive-quality-management-system> (accessed Mar. 16, 2021).
- [11] J. S. e Barros, “Sistema de Gestão da Qualidade . Documentação e Controlo da Qualidade,” Lisboa, 2000.
- [12] C. S. A. Lage, “Tese de mestrado-Ensaio de Controlo de Qualidade em Sabões e Sabonetes,” 2015.
- [13] RELACRE, *Guia Relacre 13: Validação de métodos internos de ensaio em análise química*. 2000.
- [14] B. M. and U. Ö. (eds.), Ed., *Eurachem Guide: The Fitness for Purpose of Analytical Methods – A Laboratory Guide to Method Validation and Related Topics*, 2nd ed. 2014.
- [15] RELACRE, *Guia Relacre 9: Alguns exemplos de cartas de controlo em laboratórios de análise química*. 1998.
- [16] ISO, “ISO 13934-1: Determination of maximum force and elongation at maximum force using the strip method,” 2013.
- [17] ISO, “ISO 7211/2: Determination of number of threads per unit length,” 1984.
- [18] ASTM International, “D6479-15: Standard test method for determining the edgecomb resistance of woven fabrics used in inflatable restraints,” 2017.
- [19] ISO, “ISO 3801: Determination of mass per unit length and mass per unit area,” 1983.
- [20] ISO, “ISO 5981: Determination of resistance to combined shear flexing and rubbing,” 2007.

- [21] ISO, "ISO 13937-2: Determination of tear force of trouser- shaped test specimens (Single tear method)," 2000.
- [22] ASTM International, "D4032-08: Standard test method for Stiffness of fabric by the circular bend procedure," 2016.

Anexos

Anexo I: Precisão do método de ensaio de densidade linear

Tabela 5: Resultados obtidos para a densidade linear, à teia, ao longo de 5 dias, para o estudo da precisão do método. A incerteza associada é ± 20 /dm.

| Zona | Dia 1 | Dia 2 | Dia 3 | Dia 4 | Dia 5 |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | 208 | 207 | 207 | 207 | 207 |
| 2 | 208 | 207 | 207 | 207 | 207 |
| 3 | 207 | 207 | 207 | 207 | 207 |
| 4 | 209 | 207 | 207 | 208 | 207 |
| 5 | 208 | 207 | 207 | 207 | 207 |
| 6 | 207 | 208 | 208 | 207 | 207 |

*os valores apresentados na tabela, encontram-se em 1/dm.

A partir dos resultados obtidos, aplicou-se o tratamento de dados ANOVA para obter o desvio padrão de repetibilidade (S_R) e precisão intermédia (S_i) e posteriormente o respetivo coeficiente de variação de repetibilidade (CV_R) e precisão intermédia (CV_i), respetivamente.

Tabela 6: ANOVA determinada em Excel, com os resultados registados na tabela 5.

| SUMÁRIO | | | | | | |
|--------------------------|-----------------|-------------|---------------|------------------|----------------|------------------|
| Grupos | <i>Contagem</i> | <i>Soma</i> | <i>Média</i> | <i>Variância</i> | | |
| Dia 1 (12/04) | 6 | 1247 | 207,8333 3 | 0,566666 7 | | |
| Dia 2 (13/04) | 6 | 1243 | 207,1666 7 | 0,166666 7 | | |
| Dia 3 (14/04) | 6 | 1243 | 207,1666 7 | 0,166666 7 | | |
| Dia 4 (15/04) | 6 | 1243 | 207,1666 7 | 0,166666 7 | | |
| Dia 5 (16/04) | 6 | 1242 | 207 | 0 | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| ANOVA | | | | | | |
| Fonte de variação | <i>SQ</i> | <i>gl</i> | <i>MQ</i> | <i>F</i> | <i>valor P</i> | <i>F crítico</i> |
| Entre grupos | 2,533333 3 | 4 | 0,633333 3 | 2,96875 | 0,039018 7 | 2,758710 5 |
| Dentro de grupos | 5,333333 3 | 25 | 0,213333 3 | | | |
| | | | | | | |
| Total | 7,866666 7 | 29 | | | | |

- Cálculo do desvio padrão de repetibilidade (S_R):

$$S_R = \sqrt{MQ_w} \quad (6)$$

Em que, MQ_w é o quadrado médio (MQ) correspondente, dentro de grupos.

$$S_R = \sqrt{0,2133333}$$

$$S_R = 0,46 /dm$$

- Cálculo do desvio padrão de precisão intermédia (S_I):

$$S_I = \sqrt{S_R^2 + S_{between}^2} \quad (7)$$

$$S_{between} = \sqrt{\frac{MQ_b - MQ_w}{n}} \quad (8)$$

Em que, MQ_b é o quadrado médio (MQ) correspondente, entre grupos e n é o número de réplicas, neste caso é 6.

$$S_{between} = \sqrt{\frac{0,6333333 - 0,2133333}{6}}$$

$$S_{between} = 0,26 /dm$$

$$S_I = \sqrt{(0,46)^2 + (0,26)^2}$$

$$S_I = 0,53 /dm$$

- Cálculo do coeficiente de variação de repetibilidade (CV_R):

$$CV_R = \frac{S_R}{\bar{x}} \times 100 \% \quad (9)$$

Em que \bar{x} é a média dos resultados apresentados na tabela 5.

$$CV_R = \frac{0,43}{207,3} \times 100 \%$$

$$CV_R = 0,22 \%$$

- Cálculo do coeficiente de variação de precisão intermédia (CV_I):

$$CV_I = \frac{S_I}{\bar{x}} \times 100 \% \quad (10)$$

$$CV_I = \frac{0,53}{207,3} \times 100 \% \%$$

$$CV_I = 0,26 \%$$

Tabela 7: Resultados obtidos para a densidade linear, à trama, ao longo de 5 dias, para o estudo da precisão do método. A incerteza associada é ± 19 /dm.

| Zona | Dia 1 | Dia 2 | Dia 3 | Dia 4 | Dia 5 |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | 187 | 188 | 188 | 188 | 188 |
| 2 | 188 | 188 | 189 | 189 | 188 |
| 3 | 188 | 188 | 188 | 188 | 189 |
| 4 | 188 | 188 | 188 | 188 | 188 |
| 5 | 188 | 188 | 189 | 188 | 188 |
| 6 | 188 | 188 | 188 | 188 | 188 |

*os valores apresentados na tabela, encontram-se em 1/dm.

A partir dos resultados obtidos, aplicou-se o tratamento de dados ANOVA para obter o desvio padrão de repetibilidade (S_R) e precisão intermédia (S) e posteriormente o respetivo coeficiente de variação de repetibilidade (CV_R) e precisão intermédia (CV_I), respetivamente.

Tabela 8: ANOVA determinada em Excel, com os resultados registados na tabela 7.

| SUMÁRIO | | | | | | |
|--------------------------|-----------------|-------------|---------------|------------------|----------------|------------------|
| Grupos | <i>Contagem</i> | <i>Soma</i> | <i>Média</i> | <i>Variância</i> | | |
| Dia 1 (12/04) | 6 | 1127 | 187,8333 3 | 0,166666 7 | | |
| Dia 2 (13/04) | 6 | 1128 | 188 | 0 | | |
| Dia 3 (14/04) | 6 | 1130 | 188,3333 3 | 0,266666 7 | | |
| Dia 4 (15/04) | 6 | 1129 | 188,1666 7 | 0,166666 7 | | |
| Dia 5 (16/04) | 6 | 1129 | 188,1666 7 | 0,166666 7 | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| ANOVA | | | | | | |
| Fonte de variação | <i>SQ</i> | <i>gl</i> | <i>MQ</i> | <i>F</i> | <i>valor P</i> | <i>F crítico</i> |
| Entre grupos | 0,866666 7 | 4 | 0,216666 7 | 1,413043 5 | 0,258613 3 | 2,758710 5 |
| Dentro de grupos | 3,833333 3 | 25 | 0,153333 3 | | | |
| | | | | | | |
| Total | 4,7 | 29 | | | | |

- Cálculo do desvio padrão de repetibilidade (S_R):

$$S_R = 0,39 \text{ /dm}$$

- Cálculo do desvio padrão de precisão intermédia (S_I):

$$S_I = 0,40 \text{ /dm}$$

- Cálculo do coeficiente de variação de repetibilidade (CV_R):

$$CV_R = 0,21 \%$$

- Cálculo do coeficiente de variação de precisão intermédia (CV_I):

$$CV_I = 0,22 \%$$

Anexo II: Robustez do método de ensaio de densidade linear

Tabela 9: Fatores estudados para a avaliação da robustez do método.

| Fatores testados | Valor nominal (1) | Valor alternativo (-1) |
|-------------------------------------|-----------------------|------------------------|
| A- Zona de medição | Centro | Margem |
| B- Modo de medição | Diretamente no tecido | No provete |
| C- Tempo de acondicionamento | 24h | 12h |

Tabela 10: Dados obtidos da densidade linear, à teia e trama, relativos ao estudo da robustez.

| | Ensaio | Densidade linear (1/dm) |
|---------------------------------------|--------|-------------------------|
| TEIA (± 20 /dm) | 1 | 206 |
| | | 207 |
| | | 207 |
| | 2 | 207 |
| | | 207 |
| | | 207 |
| | 3 | 211 |
| | | 213 |
| | | 210 |
| | 4 | 210 |
| | | 210 |
| | | 210 |

| | | |
|--|---|-----|
| TRAMA (± 19 /dm) | 1 | 190 |
| | | 190 |
| | | 190 |
| | 2 | 190 |
| | | 190 |
| | | 190 |
| | 3 | 190 |
| | | 190 |
| | | 190 |
| | 4 | 190 |
| | | 190 |
| | | 190 |

Tabela 11: Determinação do efeito de cada fator (R), para os resultados obtidos para a teia.

| Ensaio | A | B | C | REi (1/dm) |
|---------------|----------|----------|----------|-------------------|
| 1 | 1 | 1 | 1 | 206,7 \pm 1,4 |
| 2 | 1 | -1 | -1 | 207 \pm 20 |
| 3 | -1 | 1 | -1 | 211,3 \pm 3,8 |
| 4 | -1 | -1 | 1 | 210 \pm 20 |
| R | -3,8 | 0,5 | -0,8 | |

Para determinar a influência de cada fator (R), primeiramente tem de ser determinado o resultado experimental (REi), correspondente a cada ensaio realizado, através da média das réplicas independentes efetuadas para cada ensaio:

$$\bar{x}_1 = \frac{206 + 207 + 207}{3}$$

$$\bar{x}_1 = 206,7 \pm 1,4 \text{ /dm}$$

$$\bar{x}_2 = 207 \pm 20 \text{ /dm}$$

$$\bar{x}_3 = 211,3 \pm 3,8 \text{ /dm}$$

$$\bar{x}_4 = 210 \pm 20 \text{ /dm}$$

Posteriormente, obteve-se o efeito correspondente a cada fator (R), da seguinte forma:

$$R_i = \frac{\sum RE_i(1) - \sum RE_i(-1)}{Z}$$

Em que, Z é metade do número de ensaios, ou seja, é igual a 2.

$$R_A = \frac{RE1 + RE2 - (RE3 + RE4)}{2}$$

$$R_A = \frac{206,7 + 207 - (211,3 + 210)}{2}$$

$$R_A = -3,8$$

$$R_B = 0,5$$

$$R_C = -0,8$$

Para cada teste de significância, primeiramente aplicou-se um teste de F, de modo a perceber se as variâncias dos ensaios diferiam significativamente, para decidir qual a forma de determinar o teste t. Assim, através do teste t, concluímos se os ensaios diferem ou não significativamente entre si.

Tabela 12: Determinação da média (\bar{x}) e variância (s^2) para os resultados obtidos, nos ensaios 1, 2, 3 e 4.

| | Densidade linear (± 20 / dm) | | | |
|----------------|--|--------------|-----------------|--------------|
| Réplica | Ensaio 1 | Ensaio 2 | Ensaio 3 | Ensaio 4 |
| 1 | 206 | 207 | 211 | 210 |
| 2 | 207 | 207 | 213 | 210 |
| 3 | 207 | 207 | 210 | 210 |
| \bar{x} | 206,7 \pm 1,4 | 207 \pm 20 | 211,3 \pm 3,8 | 210 \pm 20 |
| s^2 | 0,33 | 0 | 2,3 | 0 |

De seguida, é aplicado um teste F (*two-tailed*):

H₀: Se a variância correspondente ao ensaio 3 (s_3^2) não difere significativamente da variância correspondente ao ensaio 1 (s_1^2).

$$PG = \frac{s_3^2}{s_1^2} \quad (11)$$

$$PG = \frac{2,3}{0,33}$$

$$PG = 7$$

F_{tab} , para 95% de probabilidade e para 2 graus de liberdade (GL) do numerador e denominador = 39

R: Como $PG < F_{tab}$, H_0 é aceite, logo as variâncias não diferem significativamente.

De seguida, é aplicado um teste t *student*.

H_0 : Se a média correspondente ao ensaio 3 (\bar{x}_3) não difere significativamente da média correspondente ao ensaio 1 (\bar{x}_1).

$$s_{total}^2 = \frac{(n_3 - 1)s_3^2 + (n_1 - 1)s_1^2}{(n_3 + n_1 - 2)} \quad (12)$$
$$s_{total}^2 = \frac{(3 - 1)2,3 + (3 - 1)0,33}{(3 + 3 - 2)}$$
$$s_{total}^2 = 1,3$$

$$t_{calc} = \frac{|\bar{x}_3 - \bar{x}_1|}{\sqrt{s_{total}^2 \left(\frac{1}{n_3} + \frac{1}{n_1} \right)}} \quad (13)$$
$$t_{calc} = \frac{|211,3 - 206,7|}{\sqrt{1,3 \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{3} \right)}}$$
$$t_{calc} = 4,9$$

t_{tab} , para 95% de probabilidade e para 4 GL = 2,776

R: Como $t_{calc} > t_{tab}$, H_0 é rejeitado, logo as médias diferem significativamente, logo os ensaios diferem significativamente.

H_0 : Se a variância correspondente ao ensaio 4 (s_4^2) não difere significativamente da variância correspondente ao ensaio 1 (s_1^2).

$$PG = 0$$

F_{tab} , para 95% de probabilidade e para 2 graus de liberdade (GL) do numerador e denominador = 39

R: Como $PG < F_{tab}$, H_0 é aceite, logo as variâncias não diferem significativamente.

De seguida, é aplicado um teste t *student*.

H₀: Se a média correspondente ao ensaio 4 (\bar{x}_4) não difere significativamente da média correspondente ao ensaio 1 (\bar{x}_1).

$$s_{\text{total}}^2 = 0,17$$

$$t_{\text{calc}} = 10$$

t_{tab} , para 95% de probabilidade e para 4 GL = 2,776

R: Como $t_{\text{calc}} > t_{\text{tab}}$, H₀ é rejeitado, logo as médias diferem significativamente, logo os ensaios diferem significativamente.

H₀: Se a variância correspondente ao ensaio 2 (s_2^2) não difere significativamente da variância correspondente ao ensaio 1 (s_1^2).

$$PG = 0$$

F_{tab} , para 95% de probabilidade e para 2 graus de liberdade (GL) do numerador e denominador = 39

R: Como $PG < F_{\text{tab}}$, H₀ é aceite, logo as variâncias não diferem significativamente.

De seguida, é aplicado um teste t *student*.

H₀: Se a média correspondente ao ensaio 2 (\bar{x}_2) não difere significativamente da média correspondente ao ensaio 1 (\bar{x}_1).

$$s_{\text{total}}^2 = 0,17$$

$$t_{\text{calc}} = 1$$

t_{tab} , para 95% de probabilidade e para 4 GL = 2,776

R: Como $t_{\text{calc}} < t_{\text{tab}}$, H₀ é aceite, logo as médias não diferem significativamente, logo os ensaios não diferem significativamente.

Anexo III: Precisão do método de ensaio de peso total

Tabela 13: Resultados obtidos para o peso total, ao longo de 5 dias, para o estudo da precisão do método. A incerteza associada é $\pm 0,001$ g.

| Provete | Dia 1 | Dia 2 | Dia 3 | Dia 4 | Dia 5 |
|----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| C-1 | 2,334 | 2,336 | 2,335 | 2,336 | 2,337 |
| C-2 | 2,322 | 2,325 | 2,322 | 2,324 | 2,322 |

| | | | | | |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| C-3 | 2,349 | 2,350 | 2,347 | 2,350 | 2,349 |
| C-4 | 2,325 | 2,326 | 2,324 | 2,325 | 2,322 |
| C-5 | 2,352 | 2,354 | 2,352 | 2,354 | 2,350 |
| C-6 | 2,317 | 2,320 | 2,318 | 2,319 | 2,318 |

*os valores apresentados na tabela, encontram-se em g/m².

A partir dos resultados obtidos, aplicou-se o tratamento de dados ANOVA para obter o desvio padrão de repetibilidade (S_R) e posteriormente o respetivo coeficiente de variação de repetibilidade (CV_R).

Tabela 14: ANOVA determinada em Excel, com os resultados registados na tabela 13.

| SUMÁRIO | | | | | | |
|--------------------------|-----------------|-------------|--------------|------------------|----------------|------------------|
| Grupos | <i>Contagem</i> | <i>Soma</i> | <i>Média</i> | <i>Variância</i> | | |
| Dia 1 (12/04) | 6 | 13,999 | 2,3331667 | 0,0002118 | | |
| Dia 2 (13/04) | 6 | 14,011 | 2,3351667 | 0,0001986 | | |
| Dia 3 (14/04) | 6 | 13,998 | 2,333 | 0,0001976 | | |
| Dia 4 (15/04) | 6 | 14,008 | 2,3346667 | 0,0002127 | | |
| Dia 5 (16/04) | 6 | 13,998 | 2,333 | 0,0002056 | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| ANOVA | | | | | | |
| Fonte de variação | <i>SQ</i> | <i>gl</i> | <i>MQ</i> | <i>F</i> | <i>valor P</i> | <i>F crítico</i> |
| Entre grupos | 2,58E-05 | 4 | 6,45E-06 | 0,0314266 | 0,9979674 | 2,7587105 |
| Dentro de grupos | 0,005131 | 25 | 0,0002052 | | | |
| | | | | | | |
| Total | 0,0051568 | 29 | | | | |

- Cálculo do desvio padrão de repetibilidade (S_R):

$$S_R = 0,014 \text{ g/m}^2$$

- Cálculo do coeficiente de variação de repetibilidade (CV_R):

$$CV_R = 0,61 \%$$

Anexo IV: Estudo de caso- densidade linear

Tabela 15: Resultados das medições efetuadas diretamente no tecido e sobre o provete, para a densidade linear, à teia e trama.

| TEIA (±20 /dm) | | |
|-----------------------|-----------------------|------------|
| Réplica | Diretamente no tecido | No provete |
| 1 | 207 | 206 |
| 2 | 207 | 206 |
| 3 | 207 | 208 |

| | | |
|-------------------------|-----------------------|------------|
| 4 | 206 | 207 |
| 5 | 207 | 207 |
| 6 | 206 | 207 |
| \bar{x} | 206,7±0,5 | 206,8±0,8 |
| s^2 | 0,27 | 0,57 |
| TRAMA (±19 / dm) | | |
| Réplica | Diretamente no tecido | No provete |
| 1 | 188 | 189 |
| 2 | 189 | 188 |
| 3 | 188 | 188 |
| 4 | 188 | 189 |
| 5 | 188 | 188 |
| 6 | 188 | 188 |
| \bar{x} | 188,2±0,4 | 188,3±0,5 |
| s^2 | 0,17 | 0,27 |

Foram aplicados dois testes de significância: num deles para verificar se a média dos resultados obtidos, medidos diretamente no tecido e no provete, à teia, eram estatisticamente diferentes e um outro teste para verificar se essas mesmas médias, eram significativamente diferentes, à trama.

Para a TEIA:

H_0 : Se a variância correspondente à medição da densidade linear diretamente no tecido não difere significativamente da variância correspondente à medição da densidade linear no provete.

$$PG = \frac{0,57}{0,27}$$

$$PG = 2,125$$

F_{tab} , para 95% de probabilidade e para 5 GL do numerador e denominador = 7,146

R: Como $PG < F_{tab}$, H_0 é aceite, logo as variâncias não diferem significativamente.

De seguida, é aplicado um teste t *student*:

H_0 : Se a média correspondente à medição da densidade linear diretamente no tecido não difere significativamente da média correspondente à medição da densidade linear no provete.

$$s_{total}^2 = \frac{(5 - 1)0,57 + (5 - 1)0,27}{(5 + 5 - 2)}$$

$$s_{total}^2 = 0,42$$

$$t_{\text{calc}} = \frac{|206,8 - 206,7|}{\sqrt{0,42 \left(\frac{1}{5} + \frac{1}{5}\right)}}$$

$$t_{\text{calc}} = 0,41$$

t_{tab} , para 95% de probabilidade e para 10 GL = 2,228

R: Como $t_{\text{calc}} < t_{\text{tab}}$, H_0 é aceite, logo as médias não diferem significativamente, logo os ensaios não diferem significativamente.

Para a TRAMA:

H_0 : Se a variância correspondente à medição da densidade linear diretamente no tecido não difere significativamente da variância correspondente à medição da densidade linear no provete.

$$PG = 1,6$$

F_{tab} , para 95% de probabilidade e para 5 GL do numerador e denominador = 7,146

R: Como $PG < F_{\text{tab}}$, H_0 é aceite, logo as variâncias não diferem significativamente.

De seguida, é aplicado um teste *t student*.

H_0 : Se a média correspondente à medição da densidade linear diretamente no tecido não difere significativamente da média correspondente à medição da densidade linear no provete.

$$s_{\text{total}}^2 = 0,22$$

$$t_{\text{calc}} = 0,57$$

t_{tab} , para 95% de probabilidade e para 10 GL = 2,228

R: Como $t_{\text{calc}} < t_{\text{tab}}$, H_0 é aceite, logo as médias não diferem significativamente, logo os ensaios não diferem significativamente.

Anexo V: Estudo de caso- peso total

Tabela 16: Resultados das medições efetuadas no centro e na margem, para o peso total. A incerteza associada é $\pm 0,001$ g.

| Réplica | Centro | Margem |
|----------------|---------------|---------------|
| 1 | 2,334 | 2,372 |
| 2 | 2,322 | 2,355 |
| 3 | 2,349 | 2,373 |
| 4 | 2,325 | 2,356 |
| 5 | 2,352 | 2,382 |
| 6 | 2,317 | 2,366 |

| | | |
|-----------|-----------|-----------|
| \bar{x} | 2,33±0,02 | 2,37±0,01 |
| s^2 | 0,00021 | 0,00011 |

H₀: Se a variância correspondente à medição no centro não difere significativamente da variância correspondente à medição na margem.

$$PG = 1,9205$$

F_{tab} , para 95% de probabilidade e para 5 GL do numerador e denominador = 7,146

R: Como $PG < F_{tab}$, H₀ é aceite, logo as variâncias não diferem significativamente.

De seguida, é aplicado um teste *t student*.

H₀: Se a média correspondente à medição no centro não difere significativamente da média correspondente à medição na margem.

$$s_{total}^2 = 0,00016$$

$$t_{calc} = 4,257$$

t_{tab} , para 95% de probabilidade e para 10 GL = 2,228

R: Como $t_{calc} > t_{tab}$, H₀ é rejeitada, logo as médias diferem significativamente, logo os ensaios diferem significativamente.

Anexo VI: Validação do processo de recobrimento de tecido base

Tabela 17: Resultados obtidos, na análise de 11 lotes, no ensaio do peso total, para o estudo da precisão do processo de revestimento. A incerteza associada é ±0,001 g.

| Provet e | Lote 1 | Lote 2 | Lote 3 | Lote 4 | Lote 5 | Lote 6 | Lote 7 | Lote 8 | Lote 9 | Lote 10 | Lote 11 |
|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1 | 2,33 2 | 2,34 4 | 2,32 4 | 2,32 2 | 2,35 4 | 2,33 5 | 2,30 9 | 2,28 8 | 2,33 9 | 2,32 6 | 2,35 0 |
| 2 | 2,33 1 | 2,34 6 | 2,33 5 | 2,34 1 | 2,34 9 | 2,31 6 | 2,31 4 | 2,29 3 | 2,33 7 | 2,33 7 | 2,35 9 |
| 3 | 2,33 4 | 2,32 7 | 2,32 0 | 2,34 9 | 2,32 7 | 2,31 3 | 2,30 3 | 2,32 4 | 2,33 1 | 2,31 3 | 2,34 9 |

*os valores apresentados na tabela, encontram-se em g/m².

A partir dos resultados obtidos, aplicou-se o tratamento de dados ANOVA para obter o desvio padrão de repetibilidade (S_R) e precisão intermédia (S_I) e posteriormente o respetivo coeficiente de variação de repetibilidade (CV_R) e precisão intermédia (CV_I), respetivamente.

Tabela 18: ANOVA determinada em Excel, com os resultados registados na tabela 17.

| SUMÁRIO | | | | | | |
|--------------------------|-----------------|-------------|--------------|------------------|----------------|------------------|
| Grupos | <i>Contagem</i> | <i>Soma</i> | <i>Média</i> | <i>Variância</i> | | |
| Lote 1 | 3 | 6,997 | 2,3323333 | 2,333E-06 | | |
| Lote 2 | 3 | 7,017 | 2,339 | 0,000109 | | |
| Lote 3 | 3 | 6,979 | 2,3263333 | 6,033E-05 | | |
| Lote 4 | 3 | 7,012 | 2,3373333 | 0,0001923 | | |
| Lote 5 | 3 | 7,03 | 2,3433333 | 0,0002063 | | |
| Lote 6 | 3 | 6,964 | 2,3213333 | 0,0001423 | | |
| Lote 7 | 3 | 6,926 | 2,3086667 | 3,033E-05 | | |
| Lote 8 | 3 | 6,905 | 2,3016667 | 0,0003803 | | |
| Lote 9 | 3 | 7,007 | 2,3356667 | 1,733E-05 | | |
| Lote 10 | 3 | 6,976 | 2,3253333 | 0,0001443 | | |
| Lote 11 | 3 | 7,058 | 2,3526667 | 3,033E-05 | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| ANOVA | | | | | | |
| Fonte de variação | <i>SQ</i> | <i>gl</i> | <i>MQ</i> | <i>F</i> | <i>valor P</i> | <i>F crítico</i> |
| Entre grupos | 0,0066854 | 10 | 0,0006685 | 5,5909275 | 0,0003769 | 2,296696 |
| Dentro de grupos | 0,0026307 | 22 | 0,0001196 | | | |
| | | | | | | |
| Total | 0,0093161 | 32 | | | | |

- Cálculo do desvio padrão de repetibilidade (S_R):

$$S_R = 0,011 \text{ g/m}^2$$

- Cálculo do desvio padrão de precisão intermédia (S_I):

$$S_I = 0,015 \text{ g/m}^2$$

- Cálculo do coeficiente de variação de repetibilidade (CV_R):

$$CV_R = 0,47 \%$$

- Cálculo do coeficiente de variação de precisão intermédia (CV_I):

$$CV_I = 0,62 \%$$