



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO RIO  
GRANDE DO SUL**

**CAMPUS RIO GRANDE**

**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

**GIOVANA BARRETO DE OLIVEIRA**

**AValiação DO DESEMPENHO NA UNIÃO DE COMPONENTES POLIMÉRICOS  
APLICADOS NA INDÚSTRIA MÉDICO-HOSPITALAR**

**RIO GRANDE – RIO GRANDE DO SUL**

**2023**

GIOVANA BARRETO DE OLIVEIRA

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO NA UNIÃO DE COMPONENTES POLIMÉRICOS  
APLICADOS NA INDÚSTRIA MÉDICO-HOSPITALAR

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Mecânica do Campus Rio Grande do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, como requisito parcial à obtenção do grau de bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Moraes Galarça

Coorientador: Msc. Felipe Bier de Mello

RIO GRANDE – RIO GRANDE DO SUL

2023

Ficha catalográfica gerada automaticamente através do Sistema Pergamum.

O48a Oliveira, Giovana Barreto de  
Avaliação do desempenho na união de componentes poliméricos aplicados na indústria médico-hospitalar [recurso eletrônico] / Giovana Barreto de Oliveira; Orientador: Prof. Dr. Marcelo Moraes Galarça.-- Rio Grande, RS : 2023.  
47 f.; 30 cm.

TCC (Graduação em Engenharia Mecânica) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, Campus Rio Grande, 2023.

Inclui bibliografia.

1. Materiais - Testes. 2. Indústria Médico-Hospitalar. 3. Solventes. 4. Materiais poliméricos I. Galarça, Marcelo Moraes - Prof. Dr. - 1979-. II. Título.

CDU: Ed. 1997 -- 620.1

GIOVANA BARRETO DE OLIVEIRA

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO NA UNIÃO DE COMPONENTES POLIMÉRICOS  
APLICADOS NA INDÚSTRIA MÉDICO-HOSPITALAR

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Mecânica do Campus Rio Grande do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, como requisito parcial à obtenção do grau de bacharel em Engenharia Mecânica.

Aprovado em: Julho de 2023

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Marcelo Moraes Galarça (Orientador)  
IFRS - Campus Rio Grande

---

Msc. Felipe Bier de Mello (Coorientador)  
Lifemed Ind. de Equip. e Art. Médicos e Hospitalares SA

---

Prof. Msc. Rodrigo Jorge Macedo  
IFRS - Campus Rio Grande

---

Prof. Dr. Diego Gil de Los Santos  
IFSUL - Campus Pelotas

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente à toda minha família, pelo apoio e suporte nesta jornada, principalmente aos meus pais Cíntia e Luís e aos meus irmãos André e Mariana, pela parceria e por serem minha fonte de motivação.

Ao meu orientador Prof. Marcelo Moraes Galarça, que foi fundamental para que eu pudesse concluir esta etapa, agradeço não só pelos conhecimentos passados no decorrer de todo o curso, mas também pela confiança e por me conduzir no desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço à empresa Lifemed, pela oportunidade de executar este projeto. Em especial ao gestor Felipe Bier de Mello, meu coorientador, que foi imprescindível em suas contribuições para execução deste trabalho.

“O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis.”

(José de Alencar)

## RESUMO

Toda indústria permanentemente busca por evolução e melhorias, visando competitividade, redução de custos e desperdícios aliados a ganhos em produtividade e qualidade. Neste contexto este trabalho realizado dentro de uma indústria da área médico-hospitalar, tem como objetivo caracterizar o desempenho em resistência à tração diferentes combinações de materiais poliméricos unidos por solventes, aplicados atualmente no processo de produção de dispositivos médicos descartáveis da empresa. Os resultados dos ensaios de resistência à tração são analisados com auxílio do *software* Minitab®, através da análise de variância e de comparação de médias, para corroborar com as discussões, ainda avalia-se superficialmente a área de conexão dos materiais. Com isso, pode-se avaliar o desempenho do sistema polímero-solvente, além de identificar as variáveis envolvidas que influenciam diretamente nos resultados de resistência à tração, como o tempo e o material unido.

**Palavras-chave:** Indústria Médico-Hospitalar. Materiais poliméricos. Solventes.

## ABSTRACT

Every industry permanently seeks evolution and improvements, aiming at competitiveness, cost and waste reduction combined with gains in productivity and quality. In this context, this work carried out within an industry in the medical-hospital area, aims to characterize the tensile strength performance of different combinations of polymeric materials joined by solvents, currently applied in the company's disposable medical device production process. The results of the tensile strength tests are analyzed with the aid of *software* Minitab®, through analysis of variance and comparison of means, to corroborate the discussions, the connection area is also superficially evaluated of the materials. With this, the performance of the polymer-solvent system can be evaluated, in addition to identifying the variables involved that directly influence the results of tensile strength, such as time and bonded material.

**Keywords:** Medical-Hospital Industry. Polymeric materials. Solvents.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Vista de frente de uma injetora de fuso alternante de materiais plásticos. . . . .	18
Figura 2 – Exemplo de equipo. . . . .	22
Figura 3 – Exemplo de partes de um equipo. . . . .	22
Figura 4 – Dispositivo de tração. . . . .	24
Figura 5 – Resultados para o Tubo 1. . . . .	29
Figura 6 – Tubo 1 após a desconexão com o componente 4. (a) Solvente 2, Tempo 1; (b) Solvente 2, Tempo 3; (c) Solvente 3, Tempo 1; (d) Solvente 3, Tempo 3. . . . .	30
Figura 7 – Resultados para o Tubo 2. . . . .	31
Figura 8 – Tubo 2 após a desconexão. (a) Componente 7, Solvente 4, Tempo 1; (b) Componente 7, Solvente 4, Tempo 3; (c) Componente 8, Solvente 4, Tempo 1; (d) Componente 8, Solvente 4, Tempo 3. . . . .	32
Figura 9 – Resultados para o Tubo 3. . . . .	33
Figura 10 – Tubo 3 após a desconexão com o componente 3. (a) Solvente 3, Tempo 1; (b) Solvente 3, Tempo 3; (c) Solvente 4, Tempo 1; (d) Solvente 4, Tempo 3. . . . .	34
Figura 11 – Resultado para o Tempo do Tubo 3. . . . .	34
Figura 12 – Resultados para os Solventes 1, 2 e 6. . . . .	36
Figura 13 – Resultados para os Solventes 3 e 4. . . . .	37
Figura 14 – Resultados para os Solventes 1, 2, 3 e 4. . . . .	39
Figura 15 – Resultados para o Solvente 2. . . . .	40
Figura 16 – Tubo 1 após a desconexão. (a) Componente 4, Solvente 2, Tempo 1; (b) Componente 4, Solvente 2, Tempo 2; (c) Componente 4, Solvente 2, Tempo 3 (d) Componente 6, Solvente 2, Tempo 1; (e) Componente 6, Solvente 2, Tempo 2; (f) Componente 6, Solvente 2, Tempo 3 . . . . .	41

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Exemplo de Tabela ANOVA obtida pelo Minitab®. . . . .	27
Tabela 2 – ANOVA da Análise Geral para o Tubo 1. . . . .	28
Tabela 3 – ANOVA da Análise Geral para o Tubo 2. . . . .	30
Tabela 4 – ANOVA da Análise Geral para o Tubo 3. . . . .	33
Tabela 5 – ANOVA da Análise das Cargas para os Solventes 1, 2 e 6. . . . .	35
Tabela 6 – ANOVA da Análise das Cargas para os Solventes 3 e 4. . . . .	36
Tabela 7 – ANOVA da Análise do Tempo para os Solventes 1, 2, 3 e 4. . . . .	38
Tabela 8 – ANOVA da Análise para o Solvente 2. . . . .	39

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABS	Acrilonitrila-Butadieno-Estireno
ANOVA	<i>Analysis of variance</i>
CICLO	Ciclohexanona
DEHP	<i>Di (2-ethylhexyl) phthalate</i>
GL	Graus de liberdade
H0	Hipótese nula
Ha	Hipótese alternativa
MABS	Metilmetacrilato Acrilonitrila-Butadieno-Estireno
MEK	Metil-Etil-Cetona
PC	Policarbonato
PP	Polipropileno
PU	Poliuretano
PVC	Poli(Cloreto de Vinila)
QM	Médias quadráticas
SAN	Estireno Acrilonitrilo
SQ	Soma de quadrados
TPU	Termoplástico de Poliuretano

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>13</b>
1.1	JUSTIFICATIVA	14
1.2	OBJETIVOS	14
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>15</b>
2.1	POLÍMEROS	15
<b>2.1.1</b>	<b>Classificação dos polímeros</b>	<b>15</b>
2.1.1.1	Quanto às características moleculares	15
2.1.1.2	Quanto ao comportamento térmico	16
2.1.1.3	Quanto ao comportamento mecânico	16
<b>2.1.2</b>	<b>Propriedades Mecânicas dos Polímeros</b>	<b>16</b>
<b>2.1.3</b>	<b>Aditivos para polímeros</b>	<b>16</b>
<b>2.1.4</b>	<b>Processamento de materiais poliméricos</b>	<b>17</b>
<b>2.1.5</b>	<b>Produtos de Polímeros</b>	<b>18</b>
2.2	SOLVENTES	21
2.3	SOLUBILIZAÇÃO DE MATERIAIS POLIMÉRICOS	21
2.4	EQUIPOS	22
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>23</b>
3.1	APRESENTAÇÃO DA METODOLOGIA	23
3.2	PLANEJAMENTO PARA COLETA DE DADOS	24
3.3	TÉCNICA DE ANÁLISE DOS DADOS	25
<b>3.3.1</b>	<b>Teste de Hipóteses</b>	<b>25</b>
<b>3.3.2</b>	<b>Análise de variância</b>	<b>26</b>
<b>3.3.3</b>	<b>Teste F</b>	<b>26</b>
<b>3.3.4</b>	<b>Valor-P</b>	<b>26</b>
<b>3.3.5</b>	<b>Quadro ANOVA</b>	<b>27</b>
<b>4</b>	<b>DISCUSSÃO DOS RESULTADOS</b>	<b>28</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b>	<b>42</b>
5.1	LIMITAÇÕES	43
5.2	TRABALHOS FUTUROS	43
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>44</b>

<b>APÊNDICES</b> . . . . .	45
APÊNDICE A – Roteiro de Testes . . . . .	46

## 1 INTRODUÇÃO

Muitos materiais são importantes no dia a dia da vida humana, materiais produzidos com pouca complexidade, baixo custo e que possam ter suas propriedades moldadas ganham destaque para aplicações em diversos segmentos, como os materiais poliméricos.

Os materiais poliméricos podem derivar de plantas e animais, como exemplo temos a madeira, borracha, lã, couro, e algodão, proteínas, enzimas, amido e celulose. Assim como também podem vir da síntese de pequenas moléculas orgânicas (CALLISTER, 2020).

Na indústria da área médica hospitalar, os polímeros são aplicados em diversos setores, como na fabricação de dispositivos médicos descartáveis, que são chamados comumente de equipos de infusão. Um equipo é a junção de componentes poliméricos unidos por compostos químicos, os solventes. Estes dispositivos tem como função a aplicação de medicamentos ou soro fisiológico e também alimentação.

Os equipos de infusão precisam atender a norma ABNT NBR ISO 8536-4:2011, que apresenta como principais critérios de desempenho, resistência à tração, vazamento, requisitos químicos e biológicos.

Os principais polímeros aplicados na fabricação de dispositivos médicos descartáveis enfatizados neste estudo são o poli(cloreto de vinila) (PVC) nas variações rígido, flexível e semi-flexível, acrilonitrila-butadieno-estireno (ABS), metilmetacrilato acrilonitrila-butadieno-estireno (MABS), policarbonato (PC), polipropileno (PP), termoplástico de poliuretano (TPU) e o copoliéster Eastman Tritan<sup>TM</sup>, estes são unidos com os solventes ciclohexanona (CICLO), metil-etil-cetona (MEK) e por variações de misturas e adição de cargas aos mesmos.

Em atividades de engenharia quando se trabalha com dados como em avaliações e comparações de configurações básicas de projeto, determinação dos parâmetros-chave, avaliação de diferentes materiais e de desempenho, a estatística é uma importante aliada para apresentação, tratamento e análise destes dados. Dentro das indústrias estas análises são feitas com o auxílio de *softwares* disponíveis que facilitam todo este processo para tomada de decisões e solução de problemas (MONTGOMERY; RUNGER, 2021).

Este trabalho realizado dentro de uma indústria da área médico-hospitalar, tem como objetivo avaliar através de testes de resistência à tração, as fontes de influência no desempenho da união das partes do equipo, utilizando como parâmetros a união de diferentes componentes por diferentes solventes, tudo isso ao longo de um tempo especificado.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Na indústria médico-hospitalar em questão, atualmente são fabricados equipamentos com diferentes combinações de materiais poliméricos e solventes, de acordo com o que convencionalmente é utilizado no segmento e com a solicitação da aplicação do produto final.

O solvente utilizado para promover a união entre polímeros precisa ser compatível com os materiais para que ocorra a dissolução e difusão molecular quando estes estiverem em contato, este processo é fundamental para que a adesão formada apresente desempenho adequado aos requisitos de qualidade e da norma (ABNT, 2011).

No entanto não se evidencia um estudo sistemático sobre os fatores que afetam o desempenho da união dos componentes englobando materiais poliméricos e sistema solvente.

## 1.2 OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo geral caracterizar o desempenho de resistência mecânica, através de ensaios de resistência à tração diferentes sistemas polímero-solvente combinados, que são utilizados no processo de produção de equipamentos descartáveis em uma indústria da área médico hospitalar.

Os objetivos específicos são:

- Verificar se as combinações atendem ao requisito de resistência mecânica da norma;
- Comparar o desempenho das misturas entre os solventes com e sem aditivos;
- Verificar a influência do tempo após a mistura dos solventes na união;
- Avaliar a possibilidade da utilização de um único solvente para todos os modelos de equipamentos descartáveis atualmente fabricados na indústria;
- Avaliar a variabilidade dos resultados para as combinações polímero-solvente.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 POLÍMEROS

Polímeros são macromoléculas resultantes da união dos meros, unidades químicas repetidas ligadas entre si normalmente por ligações covalentes, são obtidos através da polimerização, que nada mais é do que o processo de ligação dos monômeros que pode ser por adição ou condensação.

Os polímeros podem ter origem natural ou sintética, os derivados do petróleo são os mais comuns de serem encontrados e são produzidos a partir da nafta, fração da destilação do óleo cru (CANEVAROLO, 2006).

Existe uma ampla variedade de materiais poliméricos aplicados em diversos segmentos, como os plásticos, as borrachas, as fibras, os adesivos e as espumas, estes incluem o polietileno, poliestireno, PP, PVC, e fluorocarbonos, epóxis, fenólicos e poliésteres (CALLISTER, 2020).

#### 2.1.1 Classificação dos polímeros

A classificação dos polímeros é feita de acordo com suas características moleculares, ao seu comportamento térmico e mecânico.

##### 2.1.1.1 Quanto às características moleculares

Segundo Callister (2020), existem quatro estruturas moleculares diferentes nos polímeros: linear, ramificada, com ligações cruzadas e em rede.

A classificação em relação aos meros é feita pela composição das cadeias, tem-se então os homopolímeros e os copolímeros. Homopolímeros, quando os meros são do mesmo tipo, e copolímeros para cadeias compostas por dois ou mais tipos de meros.

Os copolímeros também são classificados pelas sequências de arranjos dos meros ao longo das cadeias, quando duas unidades diferentes estão dispersas aleatoriamente ao longo da cadeia, chama-se copolímero aleatório, já quando as duas unidades repetidas alternam posições ao longo da cadeia, temos um copolímero alternado. Ainda, tem-se o copolímero em bloco, quando as unidades repetidas idênticas ficam distribuídas, em blocos. Por fim, ramificações laterais de homopolímeros de um tipo podem ser enxertadas nas cadeias principais de homopolímeros

compostos por uma unidade repetida diferente; tal material é denominado um copolímero enxertado.

#### 2.1.1.2 Quanto ao comportamento térmico

Existem dois grandes grupos, que definem o processamento tecnológico adequado aos polímeros, os termoplásticos e os termofixos.

Os termoplásticos amolecem quando são aquecidos e endurecem quando são resfriados, sua estrutura é linear e ramificada. São exemplos de polímeros termoplásticos comuns o PVC e o TPU.

Os polímeros termofixos, depois de endurecidos, não amolecem quando são aquecidos; tem em suas estruturas ligações cruzadas e em rede. Exemplos de polímeros termofixos são as borrachas vulcanizadas, os epóxis, as resinas fenólicas e algumas resinas poliéster.

#### 2.1.1.3 Quanto ao comportamento mecânico

O comportamento mecânico divide os polímeros em três grupos: plásticos, borrachas e fibras. Esta classificação é delimitada pelas características típicas de cada material e por seu módulo de elasticidade (MANO, 1991).

### 2.1.2 Propriedades Mecânicas dos Polímeros

Conforme Callister (2020) os parâmetros utilizados para caracterizar os metais são os mesmos que são utilizados para os materiais poliméricos, como módulo de elasticidade, limite de escoamento e limite de resistência à tração, sendo necessário modificar algumas das técnicas utilizadas para ensaios em comparação às utilizadas em metais.

A maioria dos polímeros são altamente sensíveis à taxa de deformação, à temperatura e à natureza química do ambiente.

### 2.1.3 Aditivos para polímeros

Para algumas das solicitações de aplicação dos polímeros são necessárias que sejam realizadas modificações em suas propriedades, podendo então os polímeros serem aditivados com substâncias ou materiais que podem desde ajudar na polimerização e melhorar a estabilidade química até mudar a cor ou alterar características, como a resistência mecânica, térmica ou

química do plástico.

Almeida (2015) descreve alguns dos aditivos mais comuns utilizados: As cargas, plastificantes, estabilizantes e corantes.

As cargas são o aditivo mais comum adicionado aos polímeros, a fim de conferir um aumento da resistência mecânica, da rigidez e da densidade do produto final. Costumam ser materiais baratos que substituem parte do volume do polímero, para reduzir o custo do produto final.

Os plastificantes são utilizados para melhorar a flexibilidade, a ductilidade e a tenacidade dos polímeros, sua presença também produz reduções na dureza e na rigidez.

Os estabilizantes são aditivos aplicados para evitar a degradação durante a vida útil do produto final, também podem diminuir a velocidade desse processo. A deterioração pode resultar da exposição à luz, à radiação ultravioleta, e à oxidação.

Os colorantes conferem cor ao polímero, se divide em corantes ou pigmentos. Os corantes são compostos orgânicos e dissolvem-se no polímero, já os pigmentos são cargas que não se dissolvem podendo ser orgânicos ou inorgânicos, normalmente são pequenas partículas com um índice de refração próximo àquele do polímero ao qual são adicionados. Também existem pigmentos que podem conferir opacidade, assim como cor, ao polímero.

#### **2.1.4 Processamento de materiais poliméricos**

A matéria-prima para produtos plásticos é fornecida na forma de pós ou de grãos e *pellets*, sendo seu processamento definido de acordo com a característica térmica do plástico. Geralmente é feita a conformação do material na forma fundida em uma temperatura acima da temperatura de fusão, usando pelo menos uma das técnicas de moldagens: compressão, transferência, injeção, extrusão e sopro (CALLISTER, 2020).

Um dos mais importantes métodos utilizados é a moldagem por injeção, que tem como vantagens a obtenção de produtos de alta qualidade, com bom acabamento superficial, aliados a uma alta taxa de produção.

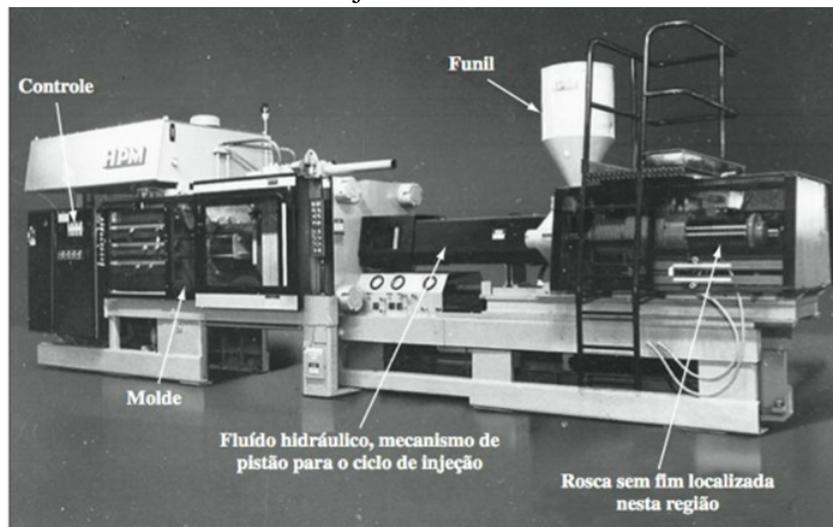
Na moldagem por injeção em máquinas modernas, Fig. (1), a matéria-prima (*pellets*) é adicionada a partir de um funil de carga na abertura do cilindro de injeção na superfície superior da rosca rotativa, a qual os carregam em direção ao molde.

A rotação da rosca força os grãos contra as paredes aquecidas do cilindro, fundindo-os devido ao calor. Quando a quantidade suficiente de material é fundida na extremidade da

rosca onde fica o molde, a rosca para e, pelo movimento do êmbolo, injeta-se uma quantidade de material fundido, por meio de um sistema de válvula, dentro das cavidades do molde fechado.

O eixo do parafuso de rosca mantém a pressão no material alimentado dentro do molde por um pequeno período de tempo, de modo a permitir que este não solidifique e se retraia. O molde é resfriado por água, garantindo resfriamento rápido da parte plástica. Então, o molde é aberto e o produto é extraído por pinos ejetores de mola ou por ar comprimido. O molde é então fechado e está pronto para o próximo ciclo (SMITH; HASHEMI, 2012).

Figura 1 – Vista de frente de uma injetora de fuso alternante de materiais plásticos.



Fonte: Smith e Hashemi (2012).

### 2.1.5 Produtos de Polímeros

Os materiais poliméricos estão presentes em aplicações de uso geral. Por possuírem um desempenho mecânico adequado, e corresponderem positivamente a rigorosidade de limpeza, toxicidade e inércia química, tornam-se alguns dos materiais mais utilizados no segmento médico-hospitalar desde artigos de contato de curto prazo, como seringas, bolsas de medicamentos, equipos, cateteres e máscaras faciais até próteses e implantes. A seguir serão brevemente descritos os materiais poliméricos utilizados neste estudo:

#### i. Poli(Cloreto de Vinila) (PVC)

O PVC é diversificadamente aplicado, principalmente por possuir alta resistência química e possibilitar a produção de um amplo número de compostos a partir de sua mistura com aditivos.

O PVC sozinho é de difícil processamento, mesmo podendo ser usado para algumas

aplicações, normalmente são adicionadas cargas para melhorar este aspecto e que também servem para absorver e dispersar energia de impacto, aumentando assim sua resistência, assim o PVC rígido com melhores propriedades é aplicado.

Ainda a fim de se obter um material de propriedades com bons desempenhos, são adicionados plastificantes ao PVC, gerando tenacidade, flexibilidade e extensibilidade. Propriedades que podem variar em uma ampla escala pelo ajuste da taxa polímero/plastificante (SMITH; HASHEMI, 2012).

As principais aplicações do PVC na área médico-hospitalar se deve também ao fato do mesmo possuir elevada biocompatibilidade e de ser facilmente esterilizado por métodos convencionais como o vapor, a radiação e o óxido de etileno.

O PVC é aplicado nas variações rígido, semi-flexível, flexível, e também livre do plastificante *Di (2-ethylhexyl) phthalate*, comumente chamado apenas pela sigla DEHP, quando não se pode haver presença do mesmo, em tubos endotraqueais, tubos para transfusão, hemodiálise e em equipos descartáveis para infusão de medicamentos, também em cateteres cardiovasculares, embalagens para medicamentos, artigos cirúrgicos e em bolsas de sangue e soro (KAMBIA et al., 2005).

#### **ii. Acrilonitrila-Butadieno-Estireno (ABS)**

O ABS deriva de três monômeros iniciais, a acrilonitrila, butadieno e estireno, que dão origem ao seu nome podem ser misturados em várias proporções.

A acrilonitrila confere uma boa resistência química e ao calor, e tenacidade ao material, o butadieno contribui com melhora da resistência ao impacto, já o estireno fornece brilho superficial, rigidez e facilidade de processamento.

O ABS é um material relativamente barato muito utilizado por também possuir como características ser flexível, leve e ao mesmo tempo resistente, pode ser de opaco a transparente (GROOVER, 2017).

Na área médico-hospitalar, o ABS é utilizado tanto na parte estrutural de aparelhos eletrônicos, quanto em pequenas peças que compõem os equipos.

#### **iii. Policarbonato (PC)**

O PC é um material reconhecido por ter ótimas propriedades mecânicas como alta tenacidade, boa resistência à fluência, ao calor e ao fogo, além de ser transparente à luz.

As aplicações do PC incluem partes moldadas de máquinas, carcaças de equipamentos de escritório além de ser muito usado em janelas e parabrisas. Na fabricação de produtos

médico-hospitalares são aplicados em cabos cirúrgicos, tanques de oxigênio, injetores sem agulha, instrumentos de perfusão e partes de dispositivos descartáveis (GROOVER, 2017).

#### **iv. Polipropileno (PP)**

O PP é um dos materiais poliméricos mais aplicados por ser competitivo já que é produzido com baixo custo e possui um bom equilíbrio de propriedades, estas incluem resistência química à umidade e ao calor, boa dureza superficial, juntamente de baixa densidade e estabilidade dimensional, é o plástico comum mais leve (SMITH; HASHEMI, 2012).

Na indústria de dispositivos médicos o PP é amplamente utilizado na fabricação de embalagens e como um dos principais substitutos atuais do PVC, em casos em que pode ocorrer uma possível interação entre droga-embalagem (KAMBIA et al., 2005).

#### **v. Metilmetacrilato Acrilonitrila-Butadieno-Estireno (MABS)**

O MABS é formado a partir de uma polimerização de condensação que envolve quatro unidades de repetição diferentes. Primeiro a acrilonitrila é polimerizada com o estireno formando o SAN, depois o monômero metil metacrilato é incorporado nessa mistura para depois ser processada junto com o polibutadieno, formando o MABS.

Entre as principais propriedades do MABS estão a transparência, boa resistência química e ao impacto e fluidez. As aplicações mais comuns do MABS são em embalagens cosméticas, tampas de máquina de lavar, produtos domésticos, entre outros.

Nos dispositivos médicos, a utilização do MABS se dá em peças de pouca solicitação mecânica, ou quando é necessária a transparência, também está presente em partes de equipamentos descartáveis (MEX, 2023).

#### **vi. Termoplástico de Poliuretano (TPU)**

O TPU é um material polimérico classe de PU, possui como propriedades boa resistência à abrasão e ductilidade alta, é aplicável em campos como engenharia aeroespacial, equipamentos esportivos e médicos por ser um material biocompatível, está presente em cateteres, eletrodos de marcapassos, enxertos vasculares e em equipamentos como tubos ou componentes, quando não se pode haver presença de PVC (XU et al., 2020).

#### **vii. Copoliéster**

O copoliéster Eastman Tritan<sup>TM</sup> é um material leve, transparente e com boa resistência química. (EASTMAN, 2023)

O Copoliéster está presente na produção de dispositivos da área médico-hospitalar em partes de equipamentos.

## 2.2 SOLVENTES

Os solventes são substâncias químicas utilizadas para unir polímeros, através da solubilização, processo de tornar um polímero solúvel, ou seja, misturar suas moléculas com as de outra substância. Essa solubilização ocorre com a dissolução do polímero pelo solvente (CANEVAROLO, 2006).

Neste estudo são utilizados compostos químicos comuns na união de componentes poliméricos da indústria da área médica-hospitalar, como Ciclohexanona (CICLO) e Metil-Etil-Cetona (MEK), além de preparações destes compostos puros ou misturas com adição das cargas, que são materiais dissolvidos nos compostos, conforme procedimento interno e usual da indústria médico-hospitalar.

## 2.3 SOLUBILIZAÇÃO DE MATERIAIS POLIMÉRICOS

Canevarolo (2006) descreve a solubilização como um processo reversível, que para materiais poliméricos, acontece em duas etapas e que não altera a estrutura química da cadeia.

Na primeira etapa, o polímero entra em contato com o solvente, assim ocorre a difusão das moléculas do solvente para dentro da massa polimérica, formando um gel inchado. Essa etapa acontece se existir compatibilidade das estruturas químicas do polímero e do solvente, e não ocorre se existir alta densidade de ligações cruzadas e se as interações polímero-polímero forem muito maiores que as interações polímero-solvente.

Na etapa seguinte, tem-se a formação de uma solução verdadeira com a desintegração do gel inchado a partir da entrada de mais solvente. Esta etapa pode ser prejudicada se estiverem presentes na massa polimérica: cristalinidade, pontes de hidrogênio, ligações cruzadas (em baixas concentrações) e se as interações polímero-polímero forem maiores que as interações polímero-solvente.

As condições para haver solubilização segundo Canevarolo (2006) são:

- Existir semelhança química e estrutural entre o polímero e o solvente;
- A solubilidade de um polímero/solvente, é acrescida com o aumento da temperatura e/ou redução da massa molecular da cadeia polimérica. A solubilidade de um polímero/solvente, é acrescida com o aumento da temperatura e/ou redução da massa molecular da cadeia polimérica;
- A solubilidade de polímeros termoplásticos altamente cristalinos ocorre somente à tempe-

raturas próximas à temperatura de fusão cristalina.

## 2.4 EQUIPOS

Equipos são conjuntos descartáveis utilizados para aplicação de medicamentos, soro ou alimentação, são produtos fabricados a partir de materiais poliméricos como exemplificado na Fig. (2).

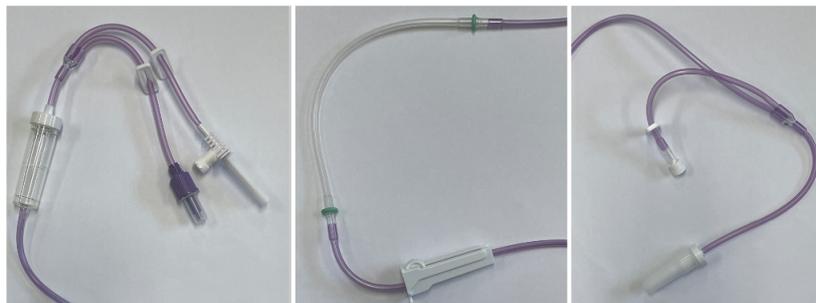
Figura 2 – Exemplo de equipo.



Fonte: <https://www.lifemed.com.br/produto/equipos>

Os principais componentes de um equipo são: a câmara de gotejamento ou a câmara graduada (bureta), para verificação da cadência das gotas que são infundidas; regulador de fluxo, para controlar o gotejamento; injetor lateral, para administração de medicamentos paralelamente; e o conector terminal, para conexão com a agulha que é colocada no paciente. Todos esses componentes são montados em uma tubulação flexível de PVC ou TPU, em alguns casos pode-se ter o segmento de silicone, componente que une o equipo à uma bomba de infusão. Os conjuntos de equipos são montados de acordo com a indicação de uso e embalados e esterilizados (HAMERSKI, 2013). A Fig. (3) exemplifica as partes de um equipo.

Figura 3 – Exemplo de partes de um equipo.



Fonte: A autora.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 APRESENTAÇÃO DA METODOLOGIA

Neste estudo, são definidos como parâmetros, para fins de comparação, montagens de combinações possíveis de equipos: diferentes tubos; diferentes componentes; diferentes solventes utilizados para união dos mesmos; e montagens ao longo de tempos preestabelecidos a partir da data de preparação (mistura) dos solventes.

As amostras, seguindo o procedimento interno de amostragem de testes, são produzidas na empresa de acordo com seu respectivo processo de fabricação, injeção e extrusão. Posteriormente, submetidas à aplicação do solvente e unidas conforme o método usual na fabricação de produtos para infusão.

Após isso, as amostras de uniões tubo-componente, são submetidas ao ensaio de tração e, em seguida feita uma compilação dos resultados para avaliação de atendimento da norma, bem como avaliações que possibilitem gerar correlações entre as variáveis envolvidas.

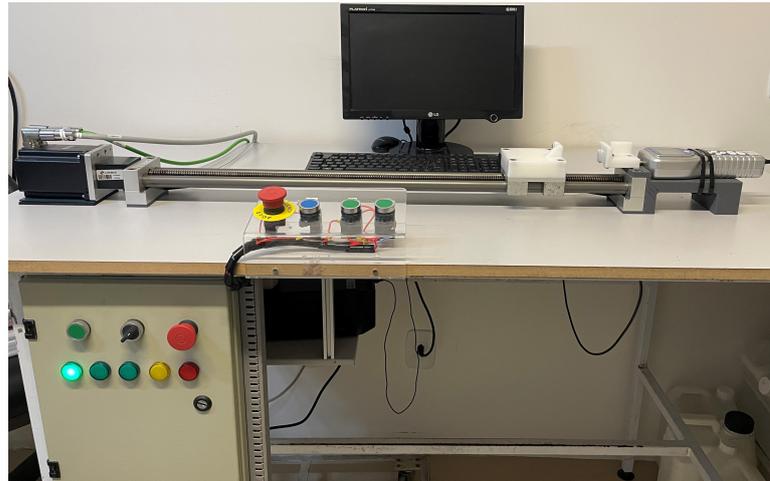
Antes de serem ensaiadas, as combinações passam por um período de descanso de 24 horas para evaporação do excesso de solvente e também para permitir a formação de uma interface na área de conexão.

A norma estabelece para resistência à tração (item 6.3) que o produto precisa resistir a uma força de tração de no mínimo 15 Newtons durante um período de 15 segundos.

No entanto, o ensaio que foi realizado no laboratório de ensaios da empresa da área médica, segue o seguinte procedimento interno: a área de conexão dos materiais poliméricos submetidos à união é tracionada até a desconexão ou o rompimento em um dispositivo de ensaio de tração, mostrado na Fig. (4), tomando-se como resultado o valor obtido pelo dinamômetro (em Newtons) no momento da desconexão ou do rompimento. Em sequência, os dados são organizados e as análises realizadas com o auxílio do *software* Minitab®.

O dispositivo utilizado no ensaio é da marca Igus®, possui um dinamômetro instalado, da marca Instrutherm®, modelo Dd-2000, de capacidade de 20 Kgf (aproximadamente 196 Newtons) e data de calibração de 22/07/2022.

Figura 4 – Dispositivo de tração.



Fonte: A autora.

### 3.2 PLANEJAMENTO PARA COLETA DE DADOS

Para iniciar os ensaios de tração, elabora-se um roteiro, apresentado no apêndice A, onde estão propostas as possíveis combinações tubo-componente-solvente-tempo utilizadas na produção de produtos médico descartáveis. Para cada combinação proposta no roteiro são selecionadas 20 amostras, totalizando 2.500 amostras para o estudo.

Para facilitar a compreensão na organização dos testes e na apresentação dos resultados, os tubos, componentes e os solventes utilizados neste estudo serão numerados, assim como o tempo preestabelecido conforme segue:

#### Tubo

- Tubo 1: Tubo em PVC;
- Tubo 2: Tubo em TPU;
- Tubo 3: Tubo em PVC flexível DEHP *free*

#### Componente

- Componente 1: Componente em PVC Rígido;
- Componente 2: Componente em PVC Semi-flexível;
- Componente 3: Componente em PVC DEHP *free*;
- Componente 4: Componente em ABS;
- Componente 5: Componente em MABS;

- Componente 6: Componente em PC;
- Componente 7: Componente em PP;
- Componente 8: Componente em Tritan™.

#### Solvente

- Solvente 1: 95% Ciclohexanona + Carga de 5% TPU;
- Solvente 2: 98% Ciclohexanona + Carga de 2% PVC;
- Solvente 3: 68,28% Metil-Etil-Cetona + 29,31% Ciclohexanona + Carga de 2,41% PVC Dehp Free;
- Solvente 4: 70% Metil-Etil-Cetona + 30% Ciclohexanona;
- Solvente 5: 100% Metil-Etil-Cetona;
- Solvente 6: 100% Ciclohexanona.

#### Tempo

- Tempo 1: Montagem logo após a mistura do solvente;
- Tempo 2: Montagem em 30 dias após a mistura do solvente;
- Tempo 3: Montagem em 60 dias após a mistura do solvente.

### 3.3 TÉCNICA DE ANÁLISE DOS DADOS

Após realização dos testes de tração, o tratamento estatístico dos dados é feito através do *software* Minitab®, utilizando a inferência estatística, a partir da análise de variância e comparação de médias. Os métodos utilizados pelo *software* para análise e avaliação dos resultados estão brevemente descritos a seguir.

#### 3.3.1 Teste de Hipóteses

O teste de hipóteses estatísticas é um método fundamental utilizado em experimentos comparativos simples. Estes são frequentemente encontrados na prática e fornecem boa base para problemas complexos.

São testadas duas hipóteses (COSTA, 2012):

- Hipótese nula ( $H_0$ ) de que as médias são iguais;
- Hipótese alternativa ( $H_a$ ), de que existe pelo menos um par de médias da combinação,

duas a duas, com diferença significativa.

### 3.3.2 Análise de variância

Também conhecido como ANOVA, em inglês *analysis of variance*, a análise de variância é um teste estatístico que tem como objetivo fundamental verificar se há uma diferença significativa entre médias e se os fatores, que podem ser quantitativos ou qualitativos, exercem influência sobre essa diferença.

A análise da variância permite a comparação entre qualquer número de médias, tornando-se assim uma ferramenta importante em testes de novas tecnologias, novos procedimentos etc. associados a diferentes amostras.

A ANOVA exige o cálculo de variâncias, porém na realidade é feita a comparação com médias de tratamentos, através do Teste F. (COSTA, 2012)

### 3.3.3 Teste F

Segundo Moore (2000) o teste F da ANOVA para comparação de várias médias é dado pela Eq. (3.1):

$$F = \frac{\text{Variação entre as médias amostrais}}{\text{Variação entre indivíduos da mesma amostra}} \quad (3.1)$$

Além do Teste F, também analisa-se o Valor-P apresentado no quadro ANOVA

### 3.3.4 Valor-P

O Valor-P é calculado usando a distribuição amostral da estatística de teste sob a hipótese nula, os dados de exemplo, e o tipo de teste que está sendo feito.

O Valor-P diz quão improvável seria um resultado tão extremo quanto o observado se a hipótese nula fosse verdadeira.

Diz-se que um resultado com pequeno Valor-P, inferior a 0,05 é estatisticamente significativo (MOORE, 2000)

### 3.3.5 Quadro ANOVA

A tabela ANOVA do Minitab®, exemplificadas na Tab. (1), contém colunas para Graus de liberdade (GL), Soma de quadrados (SQ) e Médias quadráticas (QM).

Observa-se que cada valor de QM é igual a SQ dividido por GL. A variação entre observações no mesmo grupo é chamada de ERRO.

Quando a Hipotése nula é verdadeira espera-se que o Valor F tenha valores próximos de 1, quanto mais dispersas as médias amostrais maior o Valor F. Grandes valores de F constituem evidência contra Hipotése nula (H0). (MINITAB, 2020)

Tabela 1 – Exemplo de Tabela ANOVA obtida pelo Minitab®.

<b>Fonte</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor-P</b>
Amostra	3	45	15	3	0,03
Erro	36	144	4	*	*
Total	39	189	*	*	*

Fonte: A autora.

#### 4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Para que os objetivos propostos neste estudo sejam alcançados, as análises dos resultados foram realizadas separadamente, conforme seguinte:

1. Análise geral do desempenho de todas as combinações polímero-solvente propostas neste estudo, que foi organizada da seguinte maneira:
  - Para o Tubo 1;
  - Para o Tubo 2;
  - Para o Tubo 3.
2. Análise da influência da adição das cargas nos solventes, foram geradas duas comparações:
  - Para os Solventes 1, 2 e 6;
  - Para os Solventes 3 e 4.
3. Análise do efeito do tempo na união, feita a comparação entre os solventes que passam pelo processo de mistura, portanto entre os solventes 1, 2, 3 e 4.
4. Análise do comportamento do solvente 2 nas uniões.

Para identificar a influência das variáveis no resultado obtido dos testes de tração foram usados como referências o Valor F e o Valor-P. Para o Valor-P utilizou-se o nível de significância recomendado pela literatura de  $\alpha = 0,05$  e então o Valor F foi analisado.

Posteriormente foi analisado o gráfico de resultados médios para as combinações testadas, sendo considerado para um resultado médio bom, valores acima de 20 Newtons.

A seguir serão apresentadas as tabelas ANOVA e os gráficos para a Análise (1), que foram gerados a partir dos resultados.

É possível verificar na Tab. (2), na coluna Valor-P, que todas as fontes para o caso do tubo 1 são consideradas estatisticamente significantes, e pela coluna Valor F, observa-se que a fonte de maior influência no desempenho médio é o componente, seguido do tempo.

Tabela 2 – ANOVA da Análise Geral para o Tubo 1.

<b>Fonte</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor-P</b>
Componente	6	154.106	25.684	299	0,00
Tempo	2	48.435	24.218	282	0,00
Solvente	4	46..570	11.643	136	0,00
Erro	1.527	13.0913	86	*	*
Falta de ajuste	64	79.537	1.243	35	0,00
Erro puro	1.463	51.375	35	*	*
Total	1.539	370.473	*	*	*

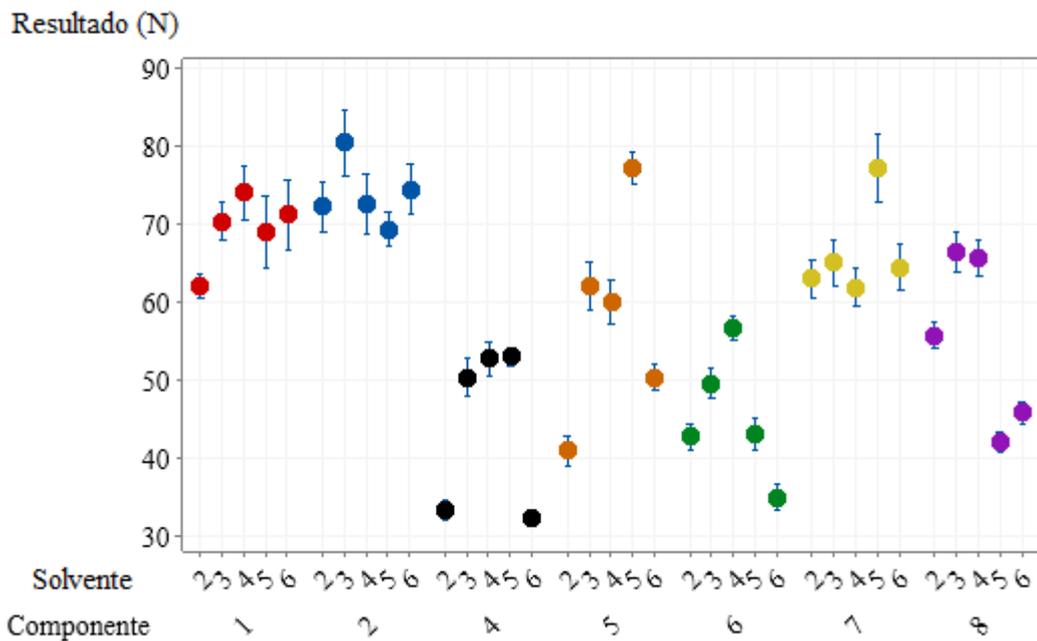
Fonte: A autora.

A partir disso, analisando a Fig. (5), verificou-se que nas uniões ao tubo 1, os componentes que tiveram resultados mais baixos foram o 4 e 6, tendo ainda menores valores quando utilizados os solventes 2 e 6.

Os componentes 1 e 2 tiveram os maiores valores médios no desempenho independente do solvente utilizado.

O componente 7 também teve resultados mais altos em relação aos outros componentes, destacando-se o solvente 5 o maior valor para o caso.

Figura 5 – Resultados para o Tubo 1.



*Os desvios padrão individuais foram usados para calcular os intervalos.*

Fonte: A autora.

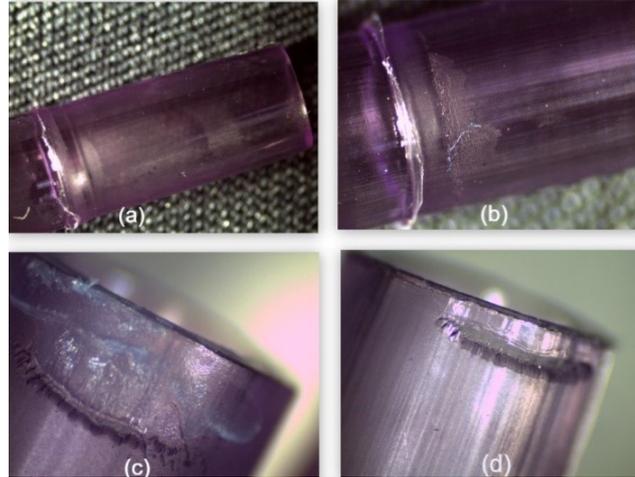
Desta maneira evidencia-se que não são as melhores opções os solventes CICLO pura e CICLO + Carga de PVC (solventes 2 e 6), para a união das combinações ABS-PVC, e PC-PVC, (componentes 4 e 6). Porém são boas opções em uniões de PVC-PVC (componentes 1 e 2).

Os solventes que são misturas de CICLO e MEK com e sem adição de carga de material (solventes 3 e 4), tiveram resultados médios bons (bem acima de 20 Newtons) para todas as combinações com o tubo em PVC (tubo 1).

A variabilidade nos resultados, observada nas linhas de intervalos para cada solvente, não foi considerada relevante (mais ou menos 10 Newtons) para nenhum dos resultados das combinações para o tubo em PVC (tubo 1).

A Fig. (6) mostra imagens, após a desconexão, da superfície do tubo de PVC com o componente em ABS (componente 4), que gerou os menores valores médios de desempenho para alguns solventes.

Figura 6 – Tubo 1 após a desconexão com o componente 4. (a) Solvente 2, Tempo 1; (b) Solvente 2, Tempo 3; (c) Solvente 3, Tempo 1; (d) Solvente 3, Tempo 3.



Fonte: A autora.

É possível observar na Fig. (6) a existência de uma "textura" na superfície do tubo, isso sugere uma interação dos materiais quando unidos. Entende-se, então, que o solvente 2 não teve tanto "ataque" quanto o solvente 3, que também pode ser visto pelo arrancamento de material na desconexão que ocorreu no solvente 3 para os dois tempos. Sugerindo assim que o solvente 3 teve melhor afinidade nesta combinação.

Conforme a Tab. (3) para o tubo 2, os resultados para valor-P são significantes para as fontes, e pelo valor F a fonte de maior influência no desempenho é o componente, seguido do tempo.

Tabela 3 – ANOVA da Análise Geral para o Tubo 2.

Fonte	GL	SQ	QM	Valor F	Valor-P
Componente	4	103.197	25.799	299	0,00
Tempo	2	20.593	10.297	119	0,00
Solvente	3	18.466	6.155	71	0,00
Erro	788	68.033	86	*	*
Falta de ajuste	30	35.482	1.183	28	0,00
Erro puro	758	32.550	43	*	*
Total	797	198.633	*	*	*

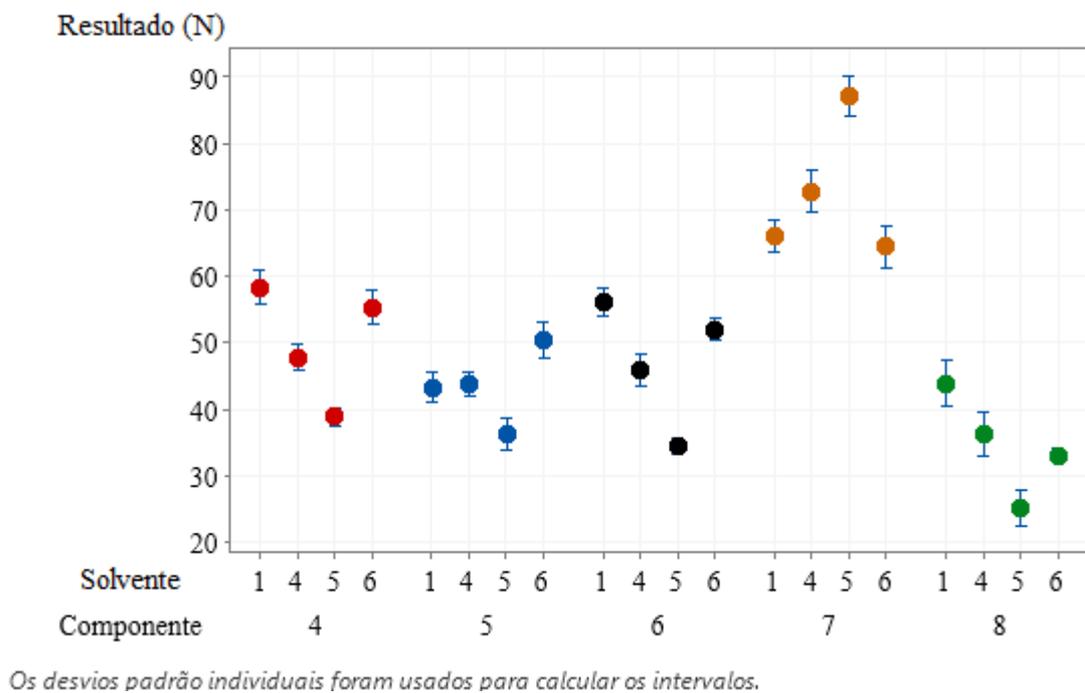
Fonte: A autora.

Na Fig. (7) pode-se observar que os componentes com menores valores médios foram as uniões com o componente 8, este que teve os resultados mais altos quando unido com solventes que são misturas (solventes 1 e 4).

O componente 7 para este caso, teve resultados altos para todos os solventes utilizados, destacando-se o solvente 5.

Os outros componentes (4, 5 e 6), comportaram-se de maneira parecida, resultados menores com o solvente 5, médios e altos para os solventes 1, 4 e 6.

Figura 7 – Resultados para o Tubo 2.



Fonte: A autora.

Verifica-se então que o copoliéster Tritan™ (componente 8), quando combinado com TPU, demonstrou como melhor opção a união com os solventes CICLO + Carga de TPU e CICLO + MEK ( solventes 1 e 4), e que quando unido com o solvente MEK (solvente 5), gera resultados muito baixos (próximos de 20 Newtons).

A união entre os materiais PP-TPU (componente 7), possui boa afinidade, resultando nos valores mais altos (comparado aos outros componentes) para todos os solventes utilizados.

Os componentes ABS, MABS e PC (componentes 4, 5 e 6) quando unidos ao tubo de TPU demonstram ter afinidade parecida, sendo o solvente MEK (solvente 5) a pior opção para estas combinações.

A variabilidade dos resultados para as combinações com o tubo em TPU, foi consi-

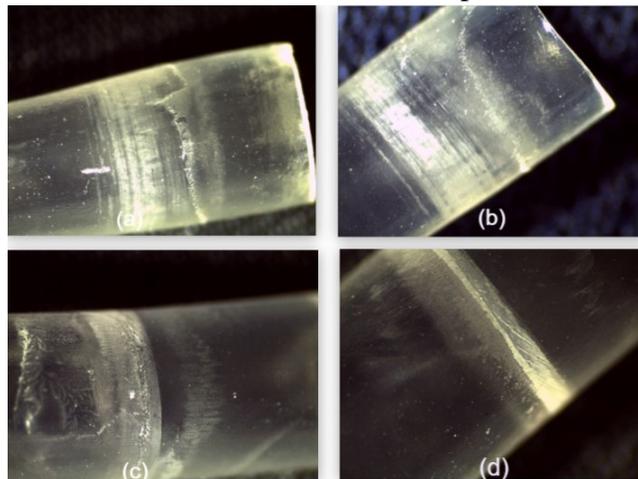
derada baixa (menos que 10 Newtons), conforme apresentam os intervalos de resultados para os solventes na Fig. (7).

O solvente com mistura de CICLO + MEK (solvente 4), teve bons resultados (acima de 20 Newtons) para as combinações com o tubo em TPU.

Conforme já mencionado, a Fig. (7) mostra que o componente 7 teve os maiores valores médios em geral e o componente 8 os menores de resistência à tração, para estes dois componentes o solvente 4 foi o segundo melhor em desempenho.

A partir da Fig. (8) não é possível identificar diferenças superficiais na região de união que demonstrem maior ou menor interação com os materiais, apenas a existência de uma camada de textura, já citada, que sugere alguma interação. Também não é possível identificar diferenças superficiais entre os resultados ao longo do tempo.

Figura 8 – Tubo 2 após a desconexão. (a) Componente 7, Solvente 4, Tempo 1; (b) Componente 7, Solvente 4, Tempo 3; (c) Componente 8, Solvente 4, Tempo 1; (d) Componente 8, Solvente 4, Tempo 3.



Fonte: A autora.

O tubo 3 foi combinado apenas com o componente 3, conforme definido no roteiro de testes.

Na Tab. (4) para o caso do tubo 3 observa-se pela coluna Valor-P que o tempo não é considerado uma fonte de influência nos resultados e que o responsável por influenciar o desempenho é o solvente utilizado.

Tabela 4 – ANOVA da Análise Geral para o Tubo 3.

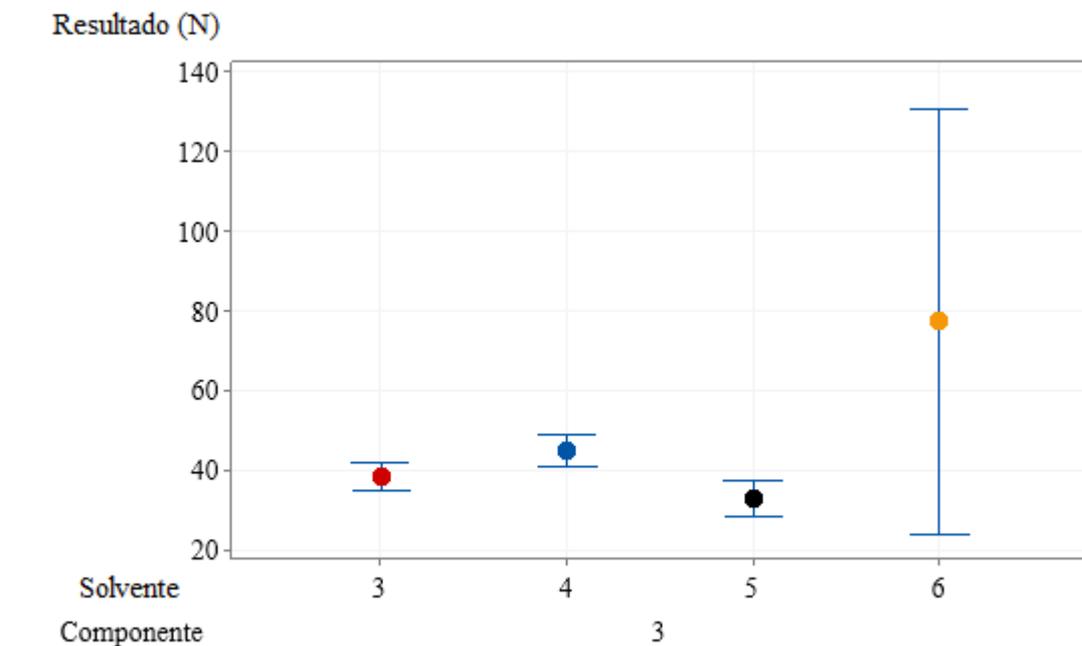
Fonte	GL	SQ	QM	Valor F	Valor-P
Tempo	2	7.942	3.971	2	0,10
Solvente	3	21.240	7.080	4	0,01
Erro	154	264.248	1716	*	*
Falta de ajuste	2	56	28	0,02	0,98
Erro puro	152	264.192	1.738	*	*
Total	159	298.648	*	*	*

Fonte: A autora.

A Fig. (9) mostra que o solvente 6 apresentou o desempenho mais alto entre os propostos neste caso, porém também é possível verificar que esta combinação apresentou uma variabilidade alta (bem acima de 10 Newtons) nos resultados, o que não é desejável.

Os outros solventes (3, 4 e 5) tiveram médias de resultados próximas, conforme Fig. (9), dentre estas o solvente 4 teve a segunda maior média nos resultados.

Figura 9 – Resultados para o Tubo 3.



Os desvios padrão individuais foram usados para calcular os intervalos.

Fonte: A autora.

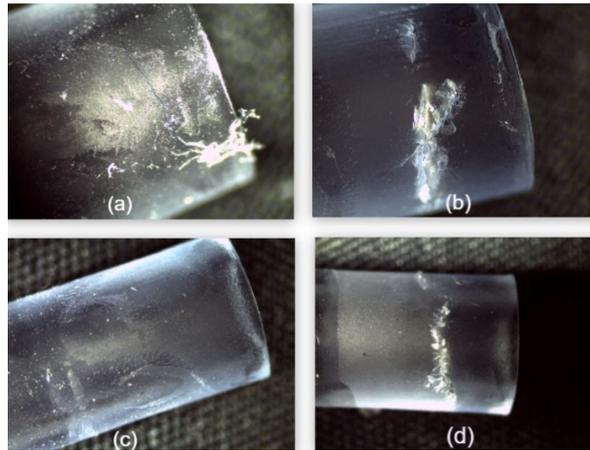
A Fig. (9) mostra então que para combinação PVC DEHP *free*-PVC flexível DEHP *free* (componente 3), o solvente CICLO (solvente 6) não é uma boa opção pois não garante resultados bons e de baixa variabilidade, e nesta união a melhor opção seria a utilização do solvente MEK + CICLO (solvente 4).

Complementando as observações feitas para o tubo 3, para os solventes 3 e 4 que

tiveram resultados médios bons e parecidos no desempenho, conforme Fig. (9), a Fig.(10) indica a existência da camada texturizada no tubo, sugerindo uma interação na superfície.

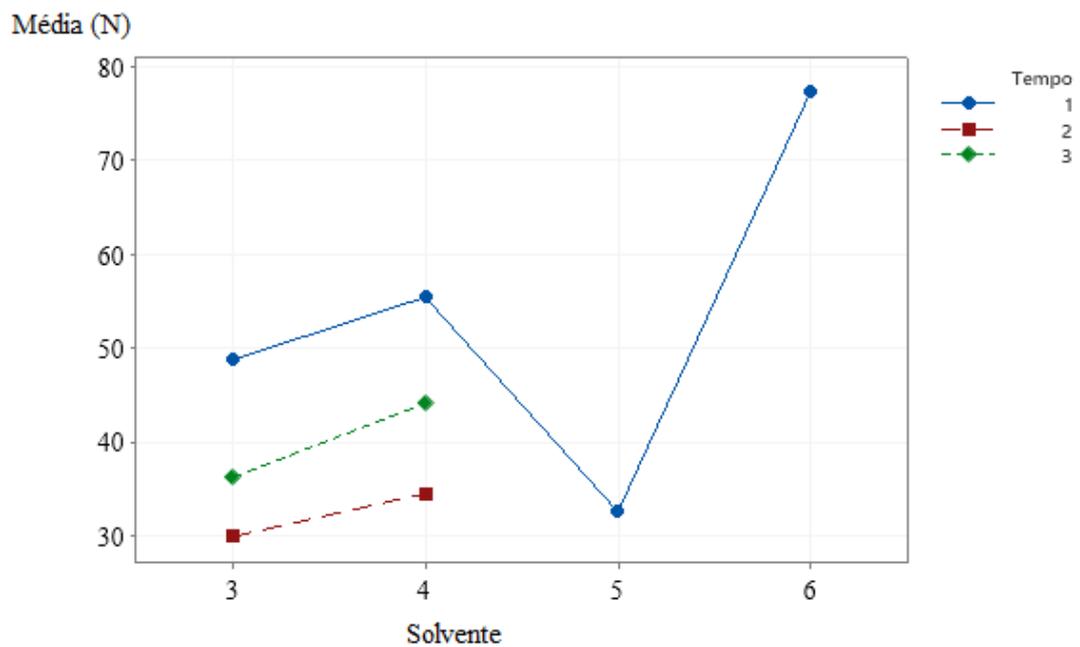
É possível perceber também para o tempo 3 o arrancamento de material para as duas situações, porém não é possível relacionar ao aumento observado no desempenho em 60 dias, conforme observado na Fig. (11).

Figura 10 – Tubo 3 após a desconexão com o componente 3. (a) Solvente 3, Tempo 1; (b) Solvente 3, Tempo 3; (c) Solvente 4, Tempo 1; (d) Solvente 4, Tempo 3.



Fonte: A autora.

Figura 11 – Resultado para o Tempo do Tubo 3.



Fonte: A autora.

Para avaliar a influência da adição das cargas nos solventes, mencionados no item análise (2), foram geradas as análises:

Para os solventes de base Ciclohexanona com e sem adição de carga (solventes 1, 2 e 6) verifica-se na coluna Valor-P da Tab. (5) que todas as variáveis consideradas são estatisticamente relevantes, porém pelo Valor F o componente e o tempo são as fontes de maior influência respectivamente.

Tabela 5 – ANOVA da Análise das Cargas para os Solventes 1, 2 e 6.

<b>Fonte</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor-P</b>
Componente	7	111.713	15.959	46	0,00
Solventes	2	8.511	4.256	12	0,00
Tempo	2	14.519	7.259	21	0,00
Erro	968	333.083	344	*	*
Falta de ajuste	32	44.349	1.386	4	0,00
Erro puro	936	288.734	308	*	*
Total	979	459.674	*	*	*

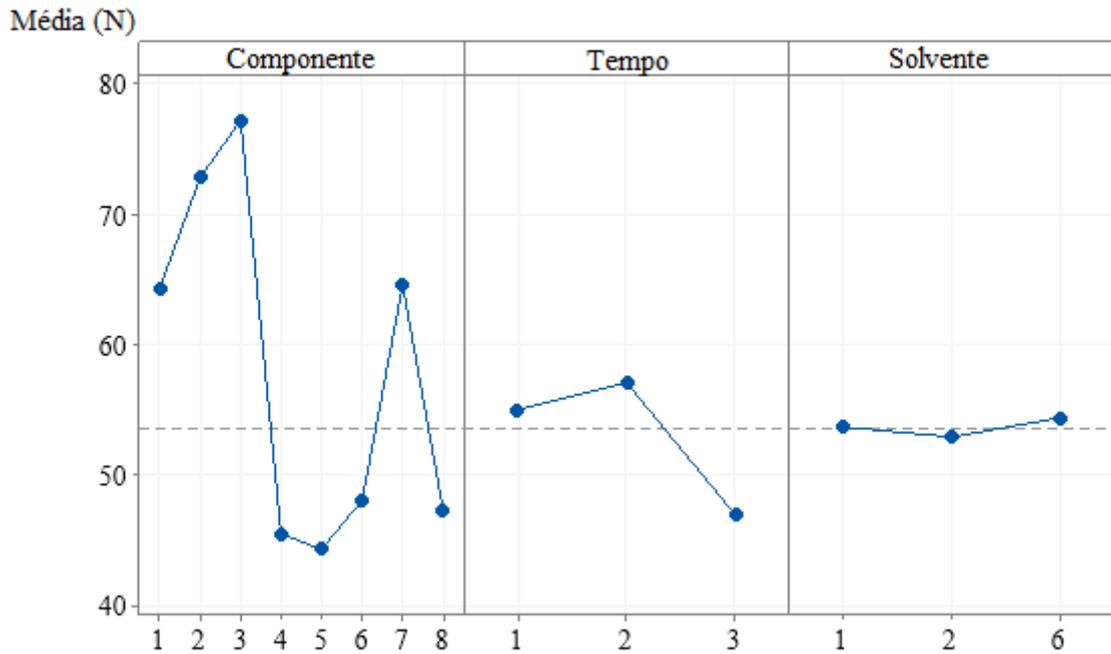
Fonte: A autora.

A Fig. (12) mostra que os três solventes tiveram resultados médios muito próximos.

Também que para estes solventes os componentes 4, 5, 6 e 8 são os pontos com menores valores de desempenho médio, também é possível identificar um aumento nos resultados do tempo 1 para o tempo 2, e depois uma diminuição no tempo 3.

A Fig. (12) reforça o observado na análise geral (1), que em uniões ABS e PC (componentes 4 e 6), os solventes com base CICLO não são boas opções, além disso também não geram bons resultados nas uniões com MABS e Tritan<sup>TM</sup> (componentes 5 e 8).

Figura 12 – Resultados para os Solventes 1, 2 e 6.



Fonte: A autora.

Analisou-se também os solventes com mistura de Ciclohexanona e Metil-Etil-Cetona com e sem adição de carga (solventes 3 e 4).

Pelo Valor-P da Tab. (6) obtidos para as fontes, verifica-se que todas são consideradas significantes, já pelo Valor F, nota-se uma grande diferença entre os valores para cada fonte, sendo o tempo a de maior valor, ou seja, maior influência, seguido do solvente.

Tabela 6 – ANOVA da Análise das Cargas para os Solventes 3 e 4.

Fonte	GL	SQ	QM	Valor F	Valor-P
Componente	7	130.687	18.669	156	0,00
Solventes	1	2.158	2.158	18	0,00
Tempo	2	61.373	30.687	257	0,00
Erro	1.249	14.9272	119	*	*
Falta de ajuste	37	41.935	1.133	13	0,00
Erro puro	1.212	107.337	89	*	*
Total	1.259	345.512	*	*	*

Fonte: A autora.

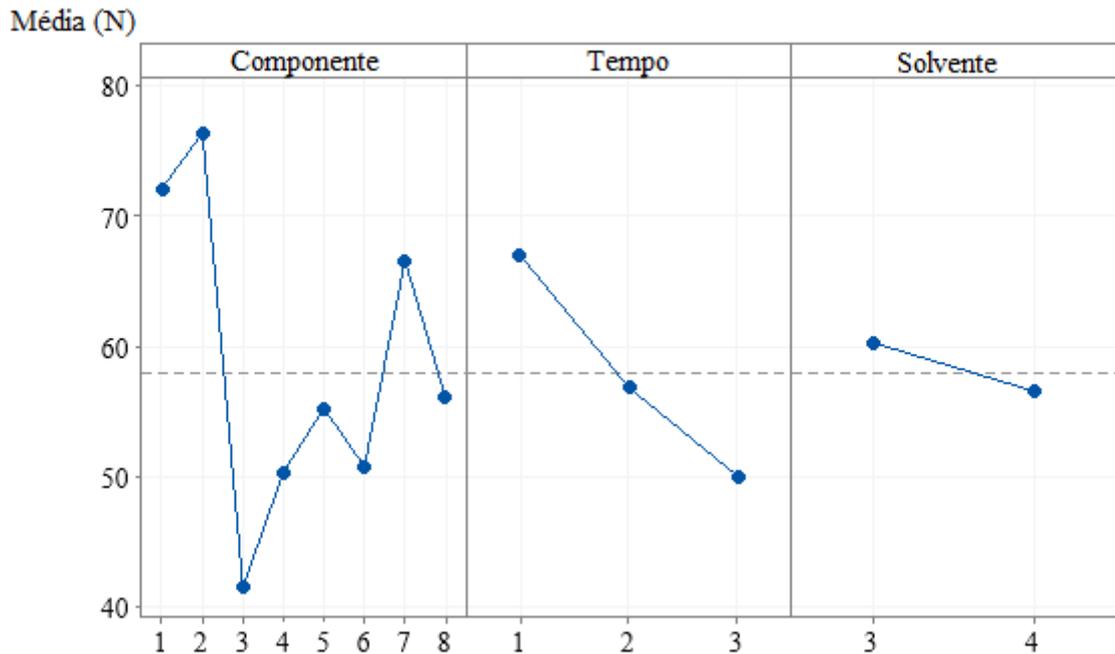
A Fig. (13) evidencia que não há uma diferença considerável nos resultados obtidos do solvente 3 para o 4 (menos que 10 Newtons).

Observa-se também na Fig. (13) que do tempo 1 para o tempo 3 há uma queda no desempenho alta. No entanto, os valores médios são altos em relação ao mínimo exigido pela

norma e considerado no procedimento interno.

O componente 3 para este caso é o de menor valor médio de desempenho, mas também apresentou valores médios considerados bons (próximos de 40 Newtons).

Figura 13 – Resultados para os Solventes 3 e 4.



Fonte: A autora.

Para os solventes que possuem mais de um composto misturados ou adição de carga de material, foi gerada a análise para verificar a influência do tempo nos resultados de desempenho após a preparação (mistura) dos solventes, análise (3).

Nos valores da última coluna da Tab. (7), têm-se que todas as fontes são estatisticamente significantes, já pelo Valor F da penúltima coluna é possível dizer que o tempo é a variável de maior influência e o componente a segunda maior. O valor para o solvente demonstrou que o mesmo não exerce grande influência.

Tabela 7 – ANOVA da Análise do Tempo para os Solventes 1, 2, 3 e 4.

<b>Fonte</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor-P</b>
Componente	7	195.060	27.866	237	0,00
Solventes	3	22.901	7.634	65	0,00
Tempo	2	65.065	32.532	276	0,00
Erro	1.967	231.670	118	*	*
Falta de ajuste	71	97.736	.1377	19	0,00
Erro puro	1.896	133.933	71	*	*
Total	1.979	506.576	*	*	*

Fonte: A autora.

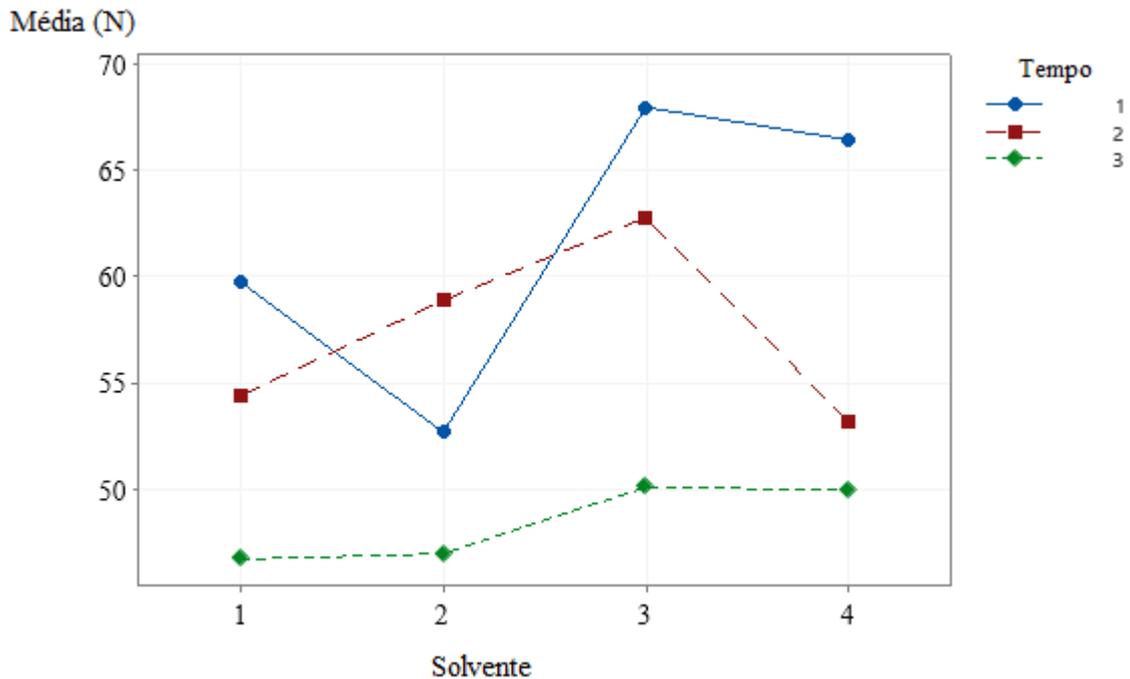
Nestes casos, a Fig. (14), aponta que o desempenho diminui consideravelmente do tempo 1 ao tempo 3 para todos os solventes, exceto para o solvente 2.

É possível observar também, que os solventes 3 e 4 tiveram os melhores resultados no tempo 1, e mesmo o solvente 4 tendo o pior valor para o tempo 2, no tempo 3 ele é o que tem a melhor média de resultados.

O solvente 1 teve os menores valores médios no tempo 1 (logo após a mistura), e também está entre os menores para o tempo 3 (60 dias após a mistura).

Ressalta-se que os solventes tiveram uma queda nos resultados de desempenho quando montados logo após a mistura e montados 60 dias após a mistura. No entanto, os valores médios obtidos em 60 dias estão acima do exigido pela norma e considerado no procedimento interno.

Figura 14 – Resultados para os Solventes 1, 2, 3 e 4.



Fonte: A autora.

O solvente 2 foi analisado separadamente, pois é um dos solventes mais utilizados para a produção de dispositivos médicos descartáveis e gerou resultados que foram considerados baixos para o esperado de desempenho em algumas combinações, além de apresentar um comportamento diferente dos outros solventes ao longo do tempo depois da preparação.

O Valor-P da Tab. (8) indica que tanto o componente quanto o tempo são significantes, sendo o componente utilizado a maior fonte de influência nos resultados, visto no Valor F.

Tabela 8 – ANOVA da Análise para o Solvente 2.

Fonte	GL	SQ	QM	Valor F	Valor-P
Componente	6	71.291	11.882	292	0,00
Tempo	2	9.922	4.961	122	0,00
Erro	411	16.706	41	*	*
Falta de ajuste	12	4.190	349	11	0,00
Erro puro	399	12.516	31	*	*
Total	419	97.919	*	*	*

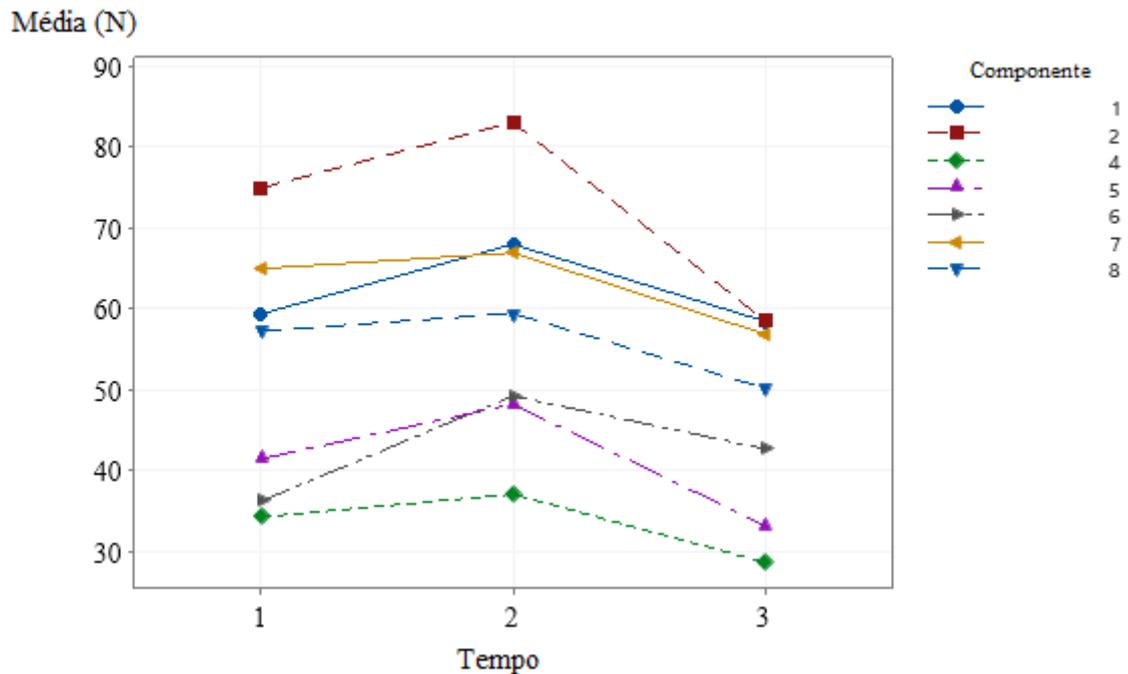
Fonte: A autora.

A Fig. (15) mostra que os componentes em PVC (componentes 1 e 2) tiveram valores médios bem altos, assim como o componente em PP (componente 7).

É possível observar um aumento nos valores médios de desempenho do tempo 1 para o tempo 2 para todos os componentes.

Também é observado que o componente em ABS (componente 4) é o que tem os menores resultados nestas uniões, e que para o tempo 3 (60 dias após a mistura) o mesmo resultou em valores considerados baixos (próximos de 30 Newtons).

Figura 15 – Resultados para o Solvente 2.



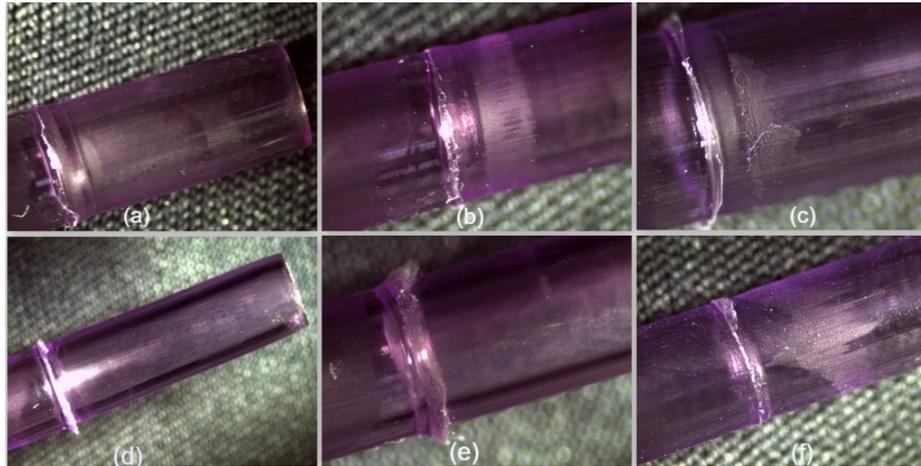
Fonte: A autora.

Como já mencionado, os componentes em ABS e PC (componentes 4 e 6) quando unidos ao tubo em PVC (tubo 1), tiveram os resultados mais baixos para o esperado de desempenho, visto na Fig.(15).

Para complementar as observações feitas até aqui a Fig. (16) mostra estes casos, onde é possível perceber a diferença na textura superficial do tubo dos componentes 4 e 6, evidenciando que o componente 4 foi o que resultou nos menores valores de desempenho no ensaio de resistência à tração.

Também é possível identificar na camada texturizada, que a mesma parece aumentar do tempo 1 para o 3 em (d), (e) e (f),isso sugere uma maior interação entre os materiais unidos, porém não vai ao encontro dos resultados de desempenho, que são menores para o tempo 3, conforme Fig. (15).

Figura 16 – Tubo 1 após a desconexão. (a) Componente 4, Solvente 2, Tempo 1; (b) Componente 4, Solvente 2, Tempo 2; (c) Componente 4, Solvente 2, Tempo 3 (d) Componente 6, Solvente 2, Tempo 1; (e) Componente 6, Solvente 2, Tempo 2; (f) Componente 6, Solvente 2, Tempo 3



Fonte: A autora.

## 5 CONCLUSÕES

Concluiu-se com este estudo então, que todos os solventes utilizados para unir as combinações de materiais poliméricos propostas, apresentaram resultados médios acima do valor mínimo do ensaio de norma item 6.3 da ABNT NBR ISO 8536-4:2011 e considerados bons em relação ao procedimento interno utilizado como referência.

Além disso, a carga de material adicionada aos solventes convencionalmente utilizada nas montagens de equipos, dentro do objetivo deste estudo, demonstrou-se não ser uma fonte de influência nos resultados de resistência à tração, não sendo observada uma diferença considerável nos resultados para solventes com e sem a adição da carga. Tornando-se assim uma oportunidade de estudo para possibilidade da eliminação da adição, tendo como consequência uma possível redução de custos. Porém, para avaliar verdadeiramente a necessidade desta, aspectos que não foram inclusos neste estudo precisam ser considerados.

Sobre o tempo, este mostrou-se influente no desempenho médio resultante, pois verifica-se que em tempos maiores de estocagem de solventes já misturados (30 e 60 dias) os resultados médios caem para praticamente todos os casos propostos. Isso impacta na questão de uma possível estocagem de solventes já preparados, conforme proposto. Ainda assim, os resultados para 60 dias, mesmo os mais baixos apresentam valores acima do valor da norma (15 Newtons).

Ressalta-se que a busca não é apenas pelo melhor desempenho, mas este aliado a uma combinação com baixa variabilidade de resultados, para garantir um produto de boa qualidade e confiabilidade. Apenas o caso para o tubo em PVC flexível DEHP *free* (tubo 3), apresentou uma variabilidade de resultados com o solvente CICLO puro (solvente 6), que não seria aplicável na indústria.

No que se refere a propor um solvente que poderia ser utilizado como padrão na produção de equipos, os solventes de mistura de Metil-Etil-Cetona e Ciclohexanona com e sem a adição de carga (solventes 3 e 4), são boas opções com base no desempenho geral observado nos resultados. No entanto como foi observado que a adição da carga não é relevante e que para algumas combinações o PVC DEHP *free* presente no solvente 3 não se aplica, a melhor opção de padronização seria o solvente de Metil-Etil-Cetona e Ciclohexanona misturados sem adição da carga (solvente 4).

## 5.1 LIMITAÇÕES

É importante salientar que este estudo abrange apenas uma das perspectivas de avaliação normativa de um equipo descartável e tem como foco apenas o ponto de união dos componentes. Sendo assim é um estudo de uma visão macro, que não caracterizou os resultados com outros parâmetros associados ao desempenho, tais como projeto de componentes e processo produtivo, que podem influenciar diretamente na união dos materiais.

## 5.2 TRABALHOS FUTUROS

Por se tratar de um estudo inicial, sugere-se que novas amostragens devem ser feitas para validar a hipótese da eliminação da adição de carga apresentada nas conclusões deste trabalho. Assim como um estudo que englobe outros parâmetros produtivos de dispositivos médicos.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, G. S. G. d. **Engenharia dos Polímeros - Tipos de Aditivos, Propriedades e Aplicações**. [S.l.]: Editora Saraiva, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO 8536-4**: Equipamento de infusão para uso médico parte 4: Equipos de infusão para uso único, alimentação por gravidade. Rio de Janeiro, 2011. 17 p.
- CALLISTER, W. D. J. **Ciência e Engenharia de Materiais - Uma Introdução**. [S.l.]: Editora Edgard Blücher Ltda, 2020.
- CANEVAROLO, S. V. J. **Ciência dos Polímeros: Um Texto Básico para Tecnólogos e Engenheiros**. [S.l.]: Artliber Editora Ltda, 2006.
- COSTA, G. G. d. O. **Curso de Estatística Inferencial e Probabilidades: Teoria e Prática**. [S.l.]: Editora Atlas, 2012.
- EASTMAN. **Eastman Tritan™ Copolyester**. 2023. Disponível em: <[https://www.eastman.com/Brands/Eastman\\_Tritan/Pages/ProductList.aspx](https://www.eastman.com/Brands/Eastman_Tritan/Pages/ProductList.aspx)>. Acesso em: 15 Jun. 2023.
- GROOVER, M. P. **Fundamentos da Moderna Manufatura**. [S.l.]: Editora LTC, 2017. v. 1.
- HAMERSKI, J. **Seleção de solventes para união de materiais poliméricos: modelamento teórico e aplicação**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Pelotas, 2013.
- KAMBIA, N. K.; DINE, T.; DUPIN-SPRIET, T.; GRESSIER, B.; LUYCKX, M.; GOUDALIEZ, F.; BRUNET, C. Compatibility of nitroglycerin, diazepam and chlorpromazine with a new multi-layer material for infusion containers. **Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis**, 2005. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jpba.2004.10.020>>. Acesso em: 11 Mai. 2023.
- MANO, E. B. **Polímeros como Materiais de Engenharia**. [S.l.]: Editora Edgard Blücher Ltda, 1991.
- MEX. **Mex Polímeros - MABS**. 2023. Disponível em: <<https://www.mexpolimeros.com/etp/mabs.html>>. Acesso em: 18 Abr. 2023.
- MINITAB. **Minitab Statistical Software 19.2020.1 User's Guide**. [S.l.], 2020.
- MONTGOMERY, D.; RUNGER, G. C. **Estatística Aplicada e Probabilidade para Engenheiros**. [S.l.]: Editora LTC, 2021.
- MOORE, D. **A estatística Básica e Sua Prática**. [S.l.]: Editora LTC, 2000.
- SMITH, W. F.; HASHEMI, J. **Fundamentos de Engenharia e Ciência dos Materiais**. [S.l.]: AMGH, 2012.
- XU, T.; SHEN W.AND LIN, X.; XIE, Y. Mechanical properties of additively manufactured thermoplastic polyurethane (tpu) material affected by various processing parameters. **Polymers**, v. 3010, n. 12, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/polym12123010>>. Acesso em: 15 Mai. 2023.

**APÊNDICES**

## APÊNDICE A – Roteiro de Testes

<b>Tubo em PVC</b>					
<b>Componente em PVC RÍGIDO</b>					
	CICLO	CICLO + PVC	MEK + CICLO + PVC DEHP FREE	MEK + CICLO	MEK
SEM TEMPO	20	20	20	20	20
30 DIAS	N/A	20	20	20	N/A
60 DIAS	N/A	20	20	20	N/A
<b>Componente em PVC SEMI-FLEXÍVEL</b>					
	CICLO	CICLO + PVC	MEK + CICLO + PVC DEHP FREE	MEK + CICLO	MEK
SEM TEMPO	20	20	20	20	20
30 DIAS	N/A	20	20	20	N/A
60 DIAS	N/A	20	20	20	N/A
<b>Componente em ABS</b>					
	CICLO	CICLO + PVC	MEK + CICLO + PVC DEHP FREE	MEK + CICLO	MEK
SEM TEMPO	20	20	20	20	20
30 DIAS	N/A	20	20	20	N/A
60 DIAS	N/A	20	20	20	N/A
<b>Componente em MABS</b>					
	CICLO	CICLO + PVC	MEK + CICLO + PVC DEHP FREE	MEK + CICLO	MEK
SEM TEMPO	20	20	20	20	20
30 DIAS	N/A	20	20	20	N/A
60 DIAS	N/A	20	20	20	N/A
<b>Componente em POLICARBONATO</b>					
	CICLO	CICLO + PVC	MEK + CICLO + PVC DEHP FREE	MEK + CICLO	MEK
SEM TEMPO	20	20	20	20	20
30 DIAS	N/A	20	20	20	N/A
60 DIAS	N/A	20	20	20	N/A
<b>Componente em POLIPROPILENO</b>					
	CICLO	CICLO + PVC	MEK + CICLO + PVC DEHP FREE	MEK + CICLO	MEK
SEM TEMPO	20	20	20	20	20
30 DIAS	N/A	20	20	20	N/A
60 DIAS	N/A	20	20	20	N/A
<b>Componente em TRITAN™</b>					
	CICLO	CICLO + PVC	MEK + CICLO + PVC DEHP FREE	MEK + CICLO	MEK
SEM TEMPO	20	20	20	20	20
30 DIAS	N/A	20	20	20	N/A
60 DIAS	N/A	20	20	20	N/A

Fonte: A autora.

<b>Tubo em TPU</b>				
<b>Componente em ABS</b>				
	CICLO	CICLO + TPU	MEK + CICLO	MEK
SEM TEMPO	20	20	20	20
30 DIAS	N/A	20	20	N/A
60 DIAS	N/A	20	20	N/A
<b>Componente em MABS</b>				
	CICLO	CICLO + TPU	MEK + CICLO	MEK
SEM TEMPO	20	20	20	20
30 DIAS	N/A	20	20	N/A
60 DIAS	N/A	20	20	N/A
<b>Componente em POLICARBONATO</b>				
	CICLO	CICLO + TPU	MEK + CICLO	MEK
SEM TEMPO	20	20	20	20
30 DIAS	N/A	20	20	N/A
60 DIAS	N/A	20	20	N/A
<b>Componente em POLIPROPILENO</b>				
	CICLO	CICLO + TPU	MEK + CICLO	MEK
SEM TEMPO	20	20	20	20
30 DIAS	N/A	20	20	N/A
60 DIAS	N/A	20	20	N/A
<b>Componente em TRITAN™</b>				
	CICLO	CICLO + TPU	MEK + CICLO	MEK
SEM TEMPO	20	20	20	20
30 DIAS	N/A	20	20	N/A
60 DIAS	N/A	20	20	N/A

Fonte: A autora.

<b>Tubo em PVC FLEXÍVEL DEHP FREE</b>				
<b>Componente em PVC DEHP FREE</b>				
	CICLO	MEK + CICLO + PVC DEHP FREE	MEK + CICLO	MEK
SEM TEMPO	20	20	20	20
30 DIAS	N/A	20	20	N/A
60 DIAS	N/A	20	20	N/A

Fonte: A autora.