

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DE TECIDO NÃOTECIDO (TNT) A BASE DE
POLIPROPILENO EXPOSTO A ESTÁGIOS DE SATURAÇÃO DE ÁGUA

por

Leonardo de Mattos Zarpelon

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Engenheiro Mecânico.

Porto Alegre, maio de 2021.

Zarpelon, Leonardo de Mattos
Caracterização mecânica de Tecido Não-tecido (TNT) a
base de polipropileno exposto a estágios de saturação
de água / Leonardo de Mattos Zarpelon. -- 2021.
31 f.
Orientador: Rogerio José Marczak.

Coorientador: Jakson Manfredini Vassoler.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de
Engenharia, Curso de Engenharia Mecânica, Porto
Alegre, BR-RS, 2021.

1. tecidos não-tecidos (TNT). 2. polipropileno. 3.
caracterização mecânica. 4. absorção de água. I.
Marczak, Rogerio José, orient. II. Vassoler, Jakson
Manfredini, coorient. III. Título.

Leonardo de Mattos Zarpelon

CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DE TECIDO NÃO TECIDO (TNT) A BASE DE
POLIPROPILENO EXPOSTO A ESTÁGIOS DE SATURAÇÃO DE ÁGUA

ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
ENGENHEIRO MECÂNICO
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA DO
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Mário Roland Sobczyk Sobrinho
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

Área de Concentração: **Mecânica dos Sólidos**

Orientador: Prof. Dr. Rogerio José Marczak

Coorientador: Prof. Dr. Jakson Manfredini Vassoler

Comissão de Avaliação:

Prof. Felipe Tempel Stumpf

Prof. Rodrigo Rossi

Prof. Rogerio José Marczak

Porto Alegre, maio de 2021

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha querida Walkiria, que através de memórias de luta e amor me ajudam nos momentos mais difíceis e desafiadores.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Elaine e Valcir, que sem medir esforços me proveram todo e qualquer auxílio durante esta caminhada. Aos meus queridos irmãos, Ana Paula e Felipe, agradeço por todo tempo compartilhado e infinitas lições aprendidas.

A minha querida e amada Amanda, agradeço por todo suporte durante os mais difíceis desafios. Esta conquista é, sem dúvida, nossa.

Agradeço aos amigos que compartilharam este caminho e ajudaram com momentos de descontração entre um café e outro.

É preciso ter paciência para esperar o que vai acontecer.

Pois algo vai acontecer, necessariamente.

Na maioria dos casos, não há como acelerar os fatos.

É preciso descobrir o prazer da paciência.

Sebastião Salgado

Zarpelon, Leonardo de Mattos. Caracterização mecânica de Tecido Não-tecido (TNT) a base de polipropileno exposto a estágios de saturação de água. 2021. 31 páginas. Monografia de Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Mecânica – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021.

RESUMO

Tecidos Não-tecidos (TNT) possuem ampla aplicação no mercado de descartáveis higiênicos (fraldas infantis e geriátricas e absorventes femininos), industriais (molas ensacadas, forro interno de automóveis, estamparia) e médicos (campos cirúrgicos, aventais, máscaras descartáveis). Não-tecidos compostos de polipropileno são fabricados a partir da sua extrusão, fiação e deposição em esteira de velocidade constante. Característica comum a todos os mercados, o não-tecido é processado através de cortes, dobras, plissagens, colagens, soldas térmicas e ultrassônicas, entre outros. Todas etapas destes processos envolvem o inerente tracionamento do não-tecido, podendo ocorrer rompimentos e, conseqüentemente, perda de matéria prima. Esta perda pode acarretar custos adicionais não toleráveis, principalmente devido a fatores climáticos não controláveis. Estes materiais, quando naturalmente expostos à umidade, atingem saturação de absorção de umidade máxima rapidamente, devido a sua espessura. Desta forma, o presente trabalho tem como objetivo identificar a sensibilidade do não-tecido de polipropileno frente a diferentes estágios de absorção de água, que poderiam ser encontradas em ambientes de fábrica, para onde este material é fornecido. Para tal, são empregados métodos de aferição da capacidade de absorção do material, segundo a norma EDANA 10.4-02, e de resistência à tração mecânica através de ensaios destrutivos, segundo a norma EDANA 20.2-89. Os resultados evidenciam que fatores ambientais que levam à absorção de água não causam impacto significativo em propriedades mecânicas nos tecidos não-tecidos, diferente do esperado para materiais poliméricos sólidos.

PALAVRAS-CHAVE: Tecido Não-tecido, polipropileno, caracterização mecânica, absorção de água.

Zarpelon, Leonardo de Mattos. Mechanical characterization of polypropylene nonwoven based exposed to stages of water saturation. 2021. 31 pages. Mechanical Engineering End of Course Monography – Mechanical Engineering degree, The Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021.

ABSTRACT

Nonwovens have a have large application on hygienic disposables (baby and geriatric diapers), industrial disposables (pocket spring, automotive lining) and medical disposables (surgical field, aprons, facemasks). Nonwovens produced with polypropylene pass through an extrusion, spinning and web deposition on a constant speed belt. Common characteristic to all applications, the nonwoven utilization occurs by cutting, folding, pleating, collages, thermal or ultrasonic bonding. All stages of these processes involve the inherent traction of the nonwoven, with the possibility of ruptures and, consequently, loss of raw material. This loss leads to unacceptable costs, mainly due to uncontrollable climatic factors. These materials when naturally exposed to moisture, reach maximum saturation quickly due to their thickness. The present essay aims to identify the mechanical sensitivity of the polypropylene nonwoven to different stages of water absorption, which could be found in factory environments where this material is supplied. To this, methods are used to measure the material's absorption capacity, according to EDANA 10.4-02 standard, and mechanical tensile strength through destructive tests, according to EDANA 20.2-89 standard. The results show that environmental factor that lead to water absorption do not have a significant impact on mechanical properties in nonwoven fabrics, different from what is expected or solid polymeric materials.

KEYWORDS: nonwoven, polypropylene, mechanical characterization, water absorbency.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 – Dependência do volume de água formado em um conta-gotas frente a tensão superficial do líquido..... | 5 |
| Figura 2 – Definição de ângulo de contato entre uma gota de líquido e uma superfície sólida..... | 5 |
| Figura 3 - Umectação de líquido entre duas fibras têxteis e sua relação com a tensão superficial do líquido..... | 5 |
| Figura 4 – Representação esquemática de uma molécula de tensoativo com partes apolar e polar. | 6 |
| Figura 5 – Curvas tensão-deformação para três tipos de materiais poliméricos: frágeis (A), dúcteis (B) e elastoméricos (C). | 7 |
| Figura 6 – Desenho esquemático da extensão das fibras com diferentes ondulações: (a) estágio inicial, (b) estágio secundário, (c) estágio final. | 7 |
| Figura 7 – Curva força-deslocamento com filamentos representados separadamente e curva equivalente do nãotecido. | 8 |
| Figura 8 – Curvas força-deslocamento de diversos nãotecidos com fatores de ondulação distintos. | 8 |
| Figura 9 – Curva característica de absorção da Lei de Fick. Representação do ganho relativo em massa ($M(t)/M_{\infty}$) como função da raiz quadrada do tempo t | 9 |
| Figura 10 – Desenho esquemático de diferentes zonas de difusão, de acordo com a definição do Deborah Number (DEB) D em relação à concentração penetrante e temperatura do polímero. | 9 |
| Figura 11 – Identificação de zonas a partir de solução de água e corante azul..... | 11 |
| Figura 12 – Curva de saturação para zonas hidrofílica e hidrofóbica de nãotecido de densidade de 13 g/m ² | 12 |
| Figura 13 – Curvas de Força x Deslocamento obtidas a partir dos ensaios mecânicos em TNT 13g/m ² hidrofílico..... | 13 |
| Figura 14 - Curvas de Força x Deslocamento obtidas a partir dos ensaios mecânicos em TNT 13g/m ² hidrofóbico..... | 13 |
| Figura 15 – Diagramas de caixas para resultados obtidos de (a) força de ruptura e (b) alongamento percentual máximo dos materiais hidrofílicos e hidrofóbicos em condições distintas de saturação. | 14 |
| Figura 16 – Teste t de <i>Student</i> para resultados de força de ruptura em zona hidrofílica. | 20 |
| Figura 17 - Teste t de <i>Student</i> para resultados de força de ruptura em zona hidrofóbica. | 20 |
| Figura 18 - Teste t de <i>Student</i> para resultados de alongamento percentual em zona hidrofílica. | 20 |
| Figura 19 - Teste t de <i>Student</i> para resultados de alongamento percentual em zona hidrofóbica. | 20 |

NOMENCLATURA

Símbolos

| | | |
|--------------|----------------------------------|-------------------|
| C | Concentração penetrante | kg/m ³ |
| C_{sat} | Capacidade de absorção | kg/m ³ |
| D | Coefficiente de difusão | m ² /s |
| DEB | Deborah Number | |
| M | Massa do corpo de prova | g |
| M_{∞} | Massa do corpo de prova saturado | g |

Símbolos gregos

| | | |
|-------------|------------------------------------|---|
| θ_D | Tempo característico de penetração | s |
| λ_m | Tempo característico de relaxação | s |

Abreviaturas e Acrônimos

| | |
|-------|--|
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| ABINT | Associação Brasileira das Indústrias de Não tecidos e Tecidos Técnicos |
| EDANA | European Disposables and Nonwovens Association |
| NBR | Norma Brasileira |
| NWSP | Nonwovens Standard Procedures |
| PP | Polipropileno |

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUÇÃO..... | 1 |
| 2. OBJETIVO | 2 |
| 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 2 |
| 3.1. Não tecidos..... | 2 |
| 3.1.1. Terminologia e Aplicações | 2 |
| 3.1.2. Matérias Primas | 3 |
| 3.1.3. Métodos de Fabricação | 3 |
| 3.1.4. Tensoativos | 4 |
| 3.1.5. Propriedades Físicas e Mecânicas..... | 6 |
| 3.1.6. Mecanismos de Difusão e Absorção de Água em Materiais Poliméricos | 8 |
| 3.2. Método de Estudo de Absorção de Água em Não tecidos | 10 |
| 3.3. Ensaio Mecânico em Não tecidos | 10 |
| 4. METODOLOGIA..... | 10 |
| 4.1. Obtenção dos Corpos de Prova | 11 |
| 4.2. Condicionamento e Caracterização da Absorção de Água | 11 |
| 4.2.1. Caracterização da Absorção de Água | 11 |
| 4.2.2. Condicionamento e Saturação | 11 |
| 4.3. Ensaio Mecânico | 12 |
| 5. RESULTADOS | 12 |
| 5.1. Caracterização da Absorção de Água | 12 |
| 5.2. Ensaio Mecânico | 13 |
| 5.2.1. Análise Estatística: Diagrama de Caixas e Teste t de Student..... | 13 |
| 6. CONCLUSÃO..... | 14 |
| 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 16 |
| 8. APÊNDICES | 17 |

1. INTRODUÇÃO

Em constante crescimento, a utilização de materiais termoplásticos na indústria tem se destacado pela sua versatilidade de aplicação. Com a indústria têxtil não tem sido diferente. A utilização de tecidos em aplicações higiênicas, hospitalares e industriais tem perdido espaço frente aos produtos não tecidos fabricados a partir de matéria prima sintética. Tecidos não tecidos (TNT) são classificados de acordo com a norma NBR-13370:2017 como materiais de estrutura plana, flexível e porosa, constituída de véu ou manta de fibras ou filamentos, orientados direcionalmente ou ao acaso, consolidadas por processo mecânico (fricção) e/ou químico (adesão) e/ou térmico (coesão) e combinações destes. Estes, além de apresentarem características similares aos tecidos, trazem como vantagem principal o seu custo como matéria prima.

Embora haja substancial impacto nas propriedades mecânicas de tecidos à base de matéria orgânica expostos à diferentes umidades relativas (De Souza, 2011), a higroscopia destes materiais tem substancial importância para sua aplicação no mercado têxtil, permitindo alta absorção em situações desejadas, como em aplicações higiênicas. Desta forma, indústrias têxteis operando com matéria prima orgânica naturalmente necessitam de maior controle de temperatura e umidade para mantimento de sua operação produtiva. Do ponto de vista mecânico, sabe-se que materiais têxteis, como o algodão e linho, aumentam sua resistência mecânica quando sua umidade é aumentada (De Souza, 2011), o que ainda pode ser benéfico nas etapas de processamento.

As matérias primas poliméricas, por sua vez, são utilizadas em diversas aplicações de engenharia e possuem características físicas e mecânicas distintas aos materiais fibrosos orgânicos. No aspecto mecânico, em ambientes com potenciais valores de umidade relativa e temperaturas distintas, podem ocorrer reduções significativas em suas propriedades, podendo causar falhas não previstas em projeto. Por conta disso, o complexo comportamento físico-mecânico destes materiais tem sido estudado por diversas áreas acadêmicas e industriais com o objetivo de prever comportamentos típicos a condições ambientais adversas. Para fabricação de TNT podem ser utilizadas diferentes matérias primas sintéticas, como os polímeros termoplásticos, naturalmente hidrofóbicos como, por exemplo, o polipropileno, onde cada um deles podem apresentar respostas mecânicas diferentes.

Ainda buscando atender ao mercado têxtil, processos químicos são empregados para que materiais não tecidos fabricados à base de matérias primas hidrofóbicas se tornem hidrofílicos. Assim, estes produtos podem possuir alta capacidade absorviva, sendo aplicados em regiões específicas de fraldas infantis e geriátricas, campos e aventais cirúrgicos, entre outros. Estes materiais são produzidos em processos que envolvem aplicação de temperatura à umidade ambiente com a finalização em embalagem impermeáveis. Quando expostos à ambientes não controlados termicamente e em temperatura reduzida, o ar úmido confinado entre as camadas do não tecido pode condensar mantendo o material em condições de maior umidade.

Na indústria de transformação e montagem, diversos insumos são utilizados para obtenção do produto final, como géis, filmes plásticos, adesivos e embalagens. O eventual rompimento do não tecido em máquinas de alta velocidade imprimida reduz sua produtividade, tempo de vida útil de equipamentos e ferramentas e, principalmente, descarte de toda matéria prima utilizada durante fabricação. Uma vez que nem sempre pode-se controlar temperatura e umidade durante o processamento, se torna importante o estudo da sensibilidade mecânica dos materiais não tecidos a base de matéria prima polimérica frente a diferentes situações de umidade relativa.

2. OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo estudar experimentalmente o comportamento físico e mecânico de não tecidos para avaliar se estes materiais mantem suas características mecânicas em diferentes situações de absorção de água, de forma que possa ser utilizado na indústria de transformação e montagem de produtos derivados. Para esta avaliação são usados não tecidos fabricados à base de polipropileno, hidrofílicos e hidrofóbicos, por uma empresa gaúcha.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Não tecidos

3.1.1. Terminologia e Aplicações

De acordo com a ABNT NBR 12546:2017, tecidos são materiais produzidos pelo entrelaçamento de um conjunto de fios de urdume e outros conjuntos de fios de trama, formando ângulo de (ou próximo a) 90°, sendo urdume o conjunto de fios dispostos na direção longitudinal (comprimento) do tecido e a trama o conjunto de fios dispostos na direção transversal (largura) do tecido. Em contrapartida, os não tecidos, segundo a norma brasileira NBR 13370:2017, são caracterizados como materiais de estrutura plana, flexíveis e porosos, constituídos de véu ou manta de fibras, ou filamentos, orientados direcionalmente ou ao acaso, consolidada por processos mecânico (fricção) e/ou químico (adesão) e/ou térmico (coesão), ou pelas combinações destes. Estes materiais são controlados e regulamentados no Brasil pela ABINT – Associação Brasileira das Indústrias de Não tecidos e Tecidos Técnicos, podendo ser fabricados a partir de fibras e/ou filamentos artificiais, naturais ou sintéticas.

De acordo com a ABINT¹, estes produtos possuem vasta aplicação no mercado de descartáveis, desde aplicações em mercados higiênicos e médico-hospitalares a aplicações industriais e em agronegócios. Ainda segundo a agência, os não tecidos podem ser classificados basicamente de acordo com a sua gramatura, método de formação da manta (*web forming*), método de consolidação da manta (*web bonding*), propriedades das fibras e/ou filamentos.

A propriedade de gramatura, à qual a ABINT² realiza a classificação, representa, segundo a norma NWSP 130.1 (05), a massa do não tecido por unidade de área definida. Esta classificação se dá desde materiais leves, com até 25 gramas por metro quadrado, à produtos muito pesados, com mínimo de 150 gramas por metros quadrado. A formação da manta dos não tecidos, segundo a ABINT, pode ser realizada por três métodos distintos, sendo eles, via seca, úmida ou fundida. Quanto a consolidação do produto, existem três métodos: via mecânico (fricção), químico (adesão) ou térmico (coesão).

Além da definição trazida pela NBR 13370:2107, não tecidos são classificados de uma forma generalista pela EDANA³, associação líder global de não tecidos e indústrias relacionadas, como produtos inovadores e de alta tecnologia fabricados através de fibras, sendo aplicados de forma ampla e variada em indústrias, por vezes sozinhos ou com a combinação de outros materiais.

¹ Informação coletada em site da Associação Brasileira das Indústrias de Não tecidos e Tecidos Técnicos – ABINT, seção “O que são Não tecidos”, acessado em março de 2021.

² Informação coletada em site da Associação Brasileira das Indústrias de Não tecidos e Tecidos Técnicos – ABINT, seção “Como são fabricados”, acessado em março de 2021.

³ Informação coletada em site da *European Disposables and Nonwovens Association* – EDANA, seção “What are nonwovens?”, acessado em março de 2021.

3.1.2. Matérias Primas

Diversas matérias-primas podem ser utilizadas para a fabricação de materiais não tecidos. Segundo a ABINT⁴, estas podem ser classificadas como artificiais, naturais ou sintéticas, sendo aplicadas em diferentes métodos de fabricação. Entre os materiais artificiais mais comuns estão a viscose e silicone, enquanto as matérias primas naturais possuem fortes representantes como sisal e algodão.

Matéria prima sintética dos não tecidos e presente em diversas aplicações domésticas, partes de montagem, embalagens e garrafas, o polipropileno é considerado o terceiro mais importante plástico em uma classificação de venda, segundo Smith (2012). Isso é justificado pelo baixo custo do insumo que, ainda de acordo com o autor, é produzido com materiais petroquímicos de custo reduzido através da utilização de um catalisados tipo Ziegler.

O polipropileno, conhecido pela sigla PP, é um polímero derivado do propeno ou propileno facilmente moldado sob aplicação de temperatura. O polímero é pertence ao grupo das poliolefinas que inclui os polietilenos e polibutenos. Conforme Smith (2012), este polímero se diferencia do polietileno pela substituição de um grupo metil em cada carbono secundário da cadeia polimérica principal, restringido a rotação das cadeias e produzindo um material mais resistente, porém, menos flexível. Neste trabalho, o TNT estudado tem o PP como matéria prima única.

3.1.3. Métodos de Fabricação

Os não tecidos podem ser classificados de acordo com o método utilizado para a formação da manta e sua posterior consolidação. Para a formação da manta, existem três métodos de fabricação conhecidos como via seca, úmida e fundida.

No processo nomeado como via seca, também conhecido como *dry laid*, os não tecidos são fabricados via cardagem ou via aérea. Ambos processos trabalham com matérias-primas na forma de fibras já formadas, entretanto, via cardagem estas são paralelizadas por cilindros recobertos por “dentes penteadores”, que formam mantas anisotrópicas podendo ser cruzadas em camadas. Já no processo via aérea as fibras são suspensas em fluxo de ar e posteriormente coletadas em uma tela, formando a manta de não tecido.

O processo de formação conhecido como via úmida se assemelha ao *dry laid* por conta da matéria prima utilizada, entretanto, neste as fibras são suspensas em meio aquoso. Posteriormente estas são coletadas através de um processo de filtração, formando a manta de não tecido.

Conhecido pelo termo *molten laid*, o processo de formação via fundida é dividido em duas tecnologias distintas: fiação contínua ou via sopro. No processo de fiação contínua, também conhecido como *spunbond*, ocorre a fusão de polímeros termoplásticos em uma fieira ou matriz, propiciando a formação do filamento. Este é resfriado e estirado sendo, por fim, depositado sobre uma esteira coletora em velocidade definida.

No processo de fabricação via sopro, conhecido como *meltblown*, a fusão de polímeros termoplásticos ocorre em fieira ou matriz com orifícios inferiores às utilizadas no processo de *spunbond*. Aqui, os filamentos são imediatamente expostos à fluxo de ar em alta temperatura, solidificando rapidamente a massa em fibras muito finas que são sopradas em esteira coletora com velocidade definida. A velocidade da esteira coletora, em ambas tecnologias de fabricação via fundida, define a densidade final do produto.

⁴ Informação coletada em site da Associação Brasileira das Indústrias de Não tecidos e Tecidos Técnicos – ABINT, seção “Classificação dos Não tecidos”, acessado em março de 2021.

Após a formação da manta de não tecido, os filamentos são consolidados para obtenção de propriedades estruturais e mecânicas. Segundo a ABINT⁵, os métodos de consolidação da manta podem ser realizados a partir de vias mecânicas, químicas ou térmicas.

O processo de consolidação mecânica ocorre a partir da fricção, podendo ser realizada através de processos de agulhagem, hidroentrelaçamento ou costura. Do termo *needlepunched*, os não tecidos consolidados através de agulhagem possuem suas fibras entrelaçadas através de penetração alternada de agulhas salientes em rolos de passamento.

Conhecidos pelos termos *spunlaced* ou *hidroentangled*, os materiais não tecidos consolidados pelo processo mecânico de hidroentrelaçamento possuem fibras entrelaçadas através da atuação penetrante de jatos de água em altas pressões. Finalizando os processos de consolidação mecânica, os não tecidos *stichbonded* são consolidados através da inserção de fios de costura na manta, podendo ainda serem utilizadas as próprias fibras para realização do processo.

O processo de consolidação químico de não tecidos ocorre através de adesão via resinagem. Nestes materiais são adicionadas às fibras insumos ligantes que realizam sua união. Este processo é conhecido pelo termo *resin bonded*.

A consolidação mais comum utilizada durante a fabricação de não tecidos é realizada através de processo térmico. Neste, as fibras são ligadas pela ação da temperatura através de sua fusão. O processo de consolidação térmico é normalmente aplicado através de conjunto de rolos gravado e liso, trazendo características mecânicas distintas ao produto de acordo com o desenho adotado. O TNT objeto de estudo deste trabalho é fabricado a partir do processo de *spunbond* e consolidado através de processo térmico.

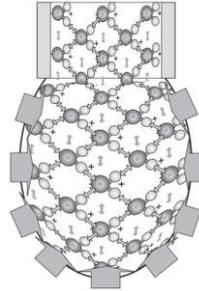
3.1.4. Tensioativos

De acordo com Daltin (2011), os tensioativos são moléculas que apresentam afinidade por óleos, gorduras e superfícies das soluções com sólidos, líquidos ou gases, mas também pela água, podendo pertencer aos dois meios. Conforme o autor, essas características permitem que estes sejam utilizados como conciliadores dessas fases imiscíveis, formando emulsões, espumas, suspensões, microemulsões ou propiciando a umectação, formação de filmes líquidos e detergência de superfícies.

As moléculas tensioativas atuam com o objetivo de alterar a interação entre moléculas a partir da alteração de suas tensões superficiais e, conseqüentemente, molhabilidade e/ou umectação. Segundo Daltin (2011) a tensão superficial ocorre pelo não balanceamento de atração das moléculas da superfície. Considerando como objeto de estudo uma gota de água sendo formada na ponta de um conta-gotas, esta não cai imediatamente por conta das forças de atração entre as moléculas de água da gota e as moléculas de água que permanecem no tubo do conta-gotas, de acordo com a Figura 1.

⁵ Informação coletada em site da Associação Brasileira das Indústrias de Não tecidos e Tecidos Técnicos – ABINT, seção “Como são fabricados”, acessado em março de 2021.

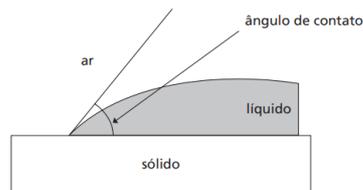
Figura 1 – Dependência do volume de água formado em um conta-gotas frente a tensão superficial do líquido.



Fonte: Adaptado de Daltin (2011)

Quando a mesma gota d'água cai sobre uma superfície sólida existe a formação de gota ou filme do líquido sobre esta. O ângulo formado pelo líquido sobre o sólido é chamado de ângulo de contato, conforme Figura 2. Esta propriedade é utilizada para caracterizar a molhabilidade da superfície, sendo considerado completamente molhado quando o ângulo de contato por nulo. Neste caso, a tensão superficial tende a ser baixa.

Figura 2 – Definição de ângulo de contato entre uma gota de líquido e uma superfície sólida.

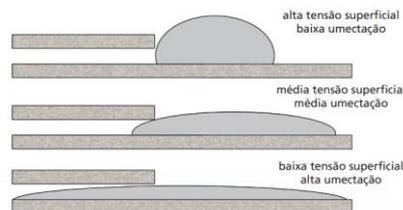


Fonte: Adaptado de Daltin (2011)

Em contrapartida, quando o ângulo de contato for alto, a superfície é considerada somente parcialmente molhada. Aqui, a tensão superficial tende a ser superior.

Considerando materiais têxteis, umectação é o termo utilizado para a molhabilidade das superfícies. Isto ocorre devido a importância da capilaridade para que o líquido penetre profundamente o material, segundo Daltin (2011). A Figura 3 exemplifica a facilidade do líquido em penetrar entre duas fibras quando sua tensão superficial é reduzida, aumentando, assim, sua umectação.

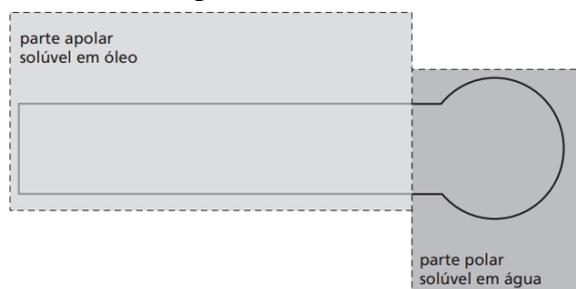
Figura 3 - Umectação de líquido entre duas fibras têxteis e sua relação com a tensão superficial do líquido.



Fonte: Adaptado de Daltin (2011)

Os surfactantes são moléculas que possuem, ao mesmo tempo, características hidrofílicas, a partir da região polar da molécula, e hidrofóbicas, a partir de sua região apolar. Daltin (2011) utiliza a Figura 4 para exemplificar esse tipo de molécula, representando à esquerda a seção solúvel em óleo (apolar) e a direita sua seção solúvel em água (polar).

Figura 4 – Representação esquemática de uma molécula de tensoativo com partes apolar e polar.



Fonte: Adaptado de Daltin (2011)

Considerando a inerente característica hidrófoba de materiais não tecidos fabricados a partir de matérias primas sintéticas, os tensoativos são aplicados. Estas moléculas atuam no sentido de redução da tensão superficial de líquidos em contato com os não tecidos, facilitando a penetração do fluido entre as fibras do produto e aumentando consideravelmente a sua umectação. Neste estudo foram utilizados corpos de prova tratados parcialmente com tensoativos, resultando em regiões hidrofílicas e hidrofóbicas lado a lado.

3.1.5. Propriedades Físicas e Mecânicas

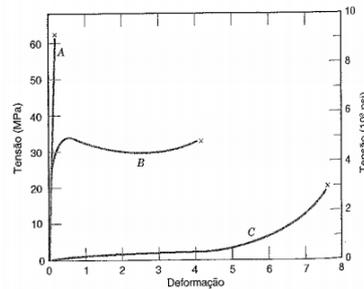
Peso molecular, volume molar, grau de densidade e grau de cristalinidade são algumas das propriedades físicas dos polímeros, segundo Kantesh (2015). Propriedades como a viscosidade, temperatura de transição e propriedades mecânicas gerais dos polímeros são influenciadas diretamente pelo seu peso molecular.

Os materiais poliméricos são formados por diversas macromoléculas compostas por meros, que são entidades estruturais menores, que se repetem ao longo da cadeia (Callister, 2009). Desta maneira, a forma com que as cadeias estão organizadas no polímero influencia diretamente nas propriedades físicas e mecânicas do produto final, considerando a grande quantidade de dobras, torções e contorções presentes no produto final.

De acordo com Smith (2011), plásticos podem ser divididos em duas classes, os termoplásticos e os termofixos, dependendo de como são ligados quimicamente e estruturalmente. Os polímeros termoplásticos necessitam de calor para que sejam moldados e mantêm a forma pela qual foram moldados durante seu resfriamento. Este processo pode ser repetido para obtenção de novas formas moldadas. Nestes, as longas cadeias moleculares são ligadas umas às outras por ligações secundárias (Smith, 2011). Além disso, os termoplásticos são em sua maioria polímeros lineares ou que possuem ramificações com cadeias flexíveis (Callister, 2009).

De acordo com Callister (2009), muitos dos parâmetros utilizados para os metais são também aplicados ao estudo das propriedades mecânicas dos polímeros, ou seja, módulo de elasticidade, limite de resistência à tração, resistência ao impacto e fadiga. Entretanto, as características mecânicas destes materiais são muito sensíveis à taxa de deformação, temperatura e natureza química do ambiente. Ainda assim, é possível identificar pelo menos três tipos de comportamentos tensão-deformação típicos nos polímeros, que caracterizam materiais frágeis, dúcteis e elastoméricos, de acordo com a Figura 5.

Figura 5 – Curvas tensão-deformação para três tipos de materiais poliméricos: frágeis (A), dúcteis (B) e elastoméricos (C).



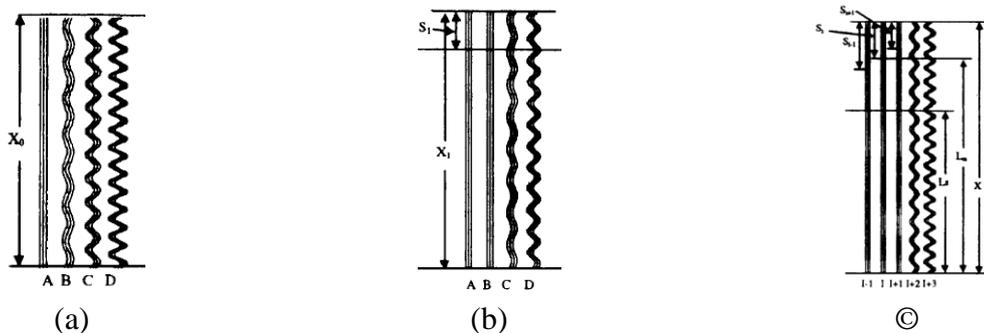
Fonte: Adaptado de Callister (2009)

Nãotecidos são materiais produzidos, em grande parte, através de matérias primas poliméricas, correspondendo às características físicas, térmicas e mecânicas destes materiais. Quando produzidos à base de polipropileno, carregam propriedades de polímeros termoplásticos, se tornando materiais recicláveis.

Segundo Adanur e Liao (1999), as propriedades mecânicas dos tecidos nãotecidos são determinadas pelas propriedades dos constituintes do tecido e pelo arranjo estrutural formado pelos seus componentes. Ainda segundo o autor, além da importância dada à morfologia da fibra que compõe o nãotecido, é preciso atentar a sua orientação, ondulação e espessura. Mudanças nestas propriedades afetam diretamente o comportamento mecânico do material e seus mecanismos de falha. Desta forma, a resposta mecânica destes produtos é influenciada diretamente pelo processo produtivo escolhido e pode ser aprimorada através deste.

Por se tratar de um véu formado por filamentos entrelaçados randomicamente e depositados em esteira em velocidade constante, o material possui inerentes características anisotrópicas (Demirci, 2011). Desta forma, naturalmente possuem resistência mecânica inferior quando ensaiados no sentido transversal à distribuição dos filamentos e, conseqüentemente, maior quando ensaiados no sentido longitudinal à distribuição das fibras. Através da consideração do comportamento de poucos filamentos orientados no longitudinal, porém, com ondulações distintas, Adanur e Liao chegaram a definição da curva força-deslocamento, conforme Figura 6. Nesta é possível identificar quatro filamentos em condições distintas de extensão.

Figura 6 – Desenho esquemático da extensão das fibras com diferentes ondulações: (a) estágio inicial, (b) estágio secundário, (c) estágio final.

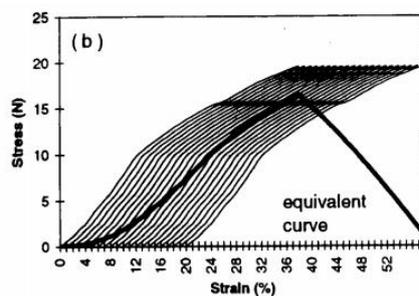


Fonte: Adaptado de Adanur e Liao (1999)

Na condição inicial, existe apenas um filamento com ondulação nula, A (Figura 6a). Com a aplicação de tensão sobre estes filamentos, ocorre a deformação do filamento A e extensão dos filamentos B a D (Figura 6b). No passo seguinte, as deformações ocorrem em A, B e C, com a extensão dos filamentos consecutivos (Figura 6c). Este comportamento é identificado até que ocorra o rompimento do primeiro filamento e a subsequente falha total do não-tecido.

Na Figura 7 se observa o comportamento do não-tecido a partir da curva equivalente traçada no gráfico força-deslocamento. Quando ocorre o rompimento do primeiro filamento, a força cai bruscamente até que todos filamentos se rompam da mesma forma.

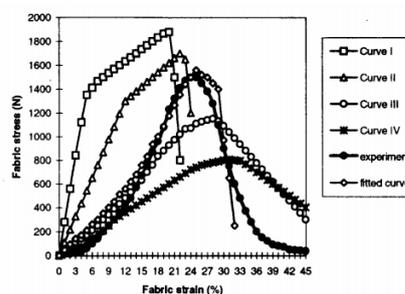
Figura 7 – Curva tensão-deformação com filamentos representados separadamente e curva equivalente do não-tecido.



Fonte: Adaptado de Adanur e Liao (1999)

De acordo com Adanur e Liao (1999), a ondulação promove características distintas para as curvas de força-deslocamento. Materiais fabricados através do processo *spunbond* e consolidados através de processo térmico não produzem filamentos tão ondulados quanto aos produtos fabricados através do processo *needlepunch*. Por este motivo, os não-tecidos *spunbonded* (curva I) atingem deslocamentos menores frente aos não-tecidos *needlepunched* (curva IV), conforme comportamento apresentado na Figura 8.

Figura 8 – Curvas força-deslocamento de diversos não-tecidos com fatores de ondulação distintos.



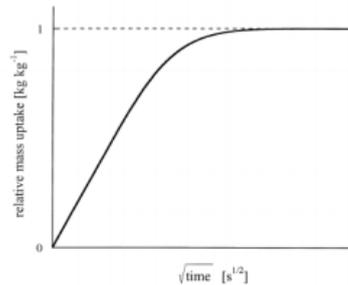
Fonte: Adaptado de Adanur e Liao (1999)

3.1.6. Mecanismos de Difusão e Absorção de Água em Materiais Poliméricos

Segundo Fan (2008) o mecanismo de difusão dos polímeros é regido pela lei geral da difusão, também conhecida pela segunda lei de difusão de Fick. A Lei de Fick resulta na curva característica de saturação demonstrada na Figura 9. De acordo com Fan (2008), inicialmente é observado uma

curva linear de ganho em massa como uma função de $t^{1/2}$ (em difusão unidimensional), onde M é a massa do corpo de prova. Com o decorrer do tempo t , a curva suavemente atinge o nível de saturação M_∞ .

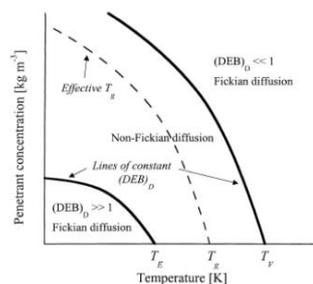
Figura 9 – Curva característica de absorção da Lei de Fick. Representação do ganho relativo em massa ($M(t)/M_\infty$) como função da raiz quadrada do tempo t .



Fonte: Adaptado de Fan (2008)

De acordo com Fan (2008), a saturação da amostra C_{sat} é comumente utilizada para descrever a sua capacidade de absorção à umidade e temperaturas definidas. Esta é, então, definida como a razão entre nível de saturação M_∞ e o volume da amostra, V . Importante ressaltar que a lei da difusão de Fick define características ideais do mecanismo para transporte da umidade na amostra, correspondendo a difusão livre da umidade sem qualquer interferência dos arranjos das cadeias poliméricas (Fan, 2008). Segundo o autor, Vrentas (1996) introduziu um mecanismo de difusão através do Deborah Number $(DEB)_D$ para caracterizar o comportamento não-Fickiano durante a absorção, definido a partir da razão entre tempo característico da penetração por difusão, θ_D , e tempo característico do processo de relaxação do polímero, λ_m (Fan, 2008). Segundo o autor, θ_D é proporcional ao quadrado da espessura do polímero. A Figura 10 representa o comportamento de polímeros de acordo com diferentes Deborah Numbers.

Figura 10 – Desenho esquemático de diferentes zonas de difusão, de acordo com a definição do Deborah Number $(DEB)_D$ em relação à concentração penetrante e temperatura do polímero.



Fonte: Adaptado de Fan (2008)

De acordo com Duda e Zielinski (1992), o volume de um polímero é dividido entre volume ocupado, livre intersticial e livre. O volume ocupado existe por conta das ligações de “van der Waals” e não apresenta nenhum volume livre. O volume intersticial são espaços inacessíveis e ligados a energia de vibração das ligações do polímero. Este volume é levemente aumentado de acordo com a temperatura do polímero. Por último, o volume livre é resultante do processo de relaxação e plastificação quando o material passa pelos processos de aquecimento e resfriamento.

Os volumes livres são as regiões onde moléculas como H_2O penetram e difundem. Estas moléculas causam variações nas propriedades físicas e mecânicas dos polímeros. De forma a considerar a composição dos materiais TNT, formados estes por filamentos a base de polímeros, os mecanismos de difusão Fickiano e não-Fickiano podem ser aplicados. Entretanto, nãotecidos tendem a obter *Deborah Numbers* altos de acordo com a espessura micrométrica dos seus filamentos. Além disso, a região livre presente na trama deve ser considerada e pode apresentar substancial parcela absorptiva, podendo resultar em curvas de absorção Fickianas e acelerada saturação.

3.2. Método de Estudo de Absorção de Água em Nãotecidos

Entre os ensaios de absorção de água em nãotecidos o mais utilizado é definido pela associação europeia de *nonwovens*. A norma EDANA 10.4-02 (2002) define que os ensaios devem ser realizados em amostras condicionadas durante 24 horas em ambiente de 23°C e umidade relativa de 50%. O documento traz definições para o tempo de absorção de fluido, capacidade de absorção e taxa de drenagem. A norma indica que a capacidade de absorção de fluido se traduz como o ganho em peso percentual de uma amostra levada à saturação, por meio de sua submersão em fluido definido. Considerando baixo peso e a estrutura plana do TNT, a norma indica utilização de estrutura auxiliar para submersão.

3.3. Ensaios Mecânicos em Nãotecidos

Os comportamentos mecânicos dos materiais são importantes para definir possíveis aplicações na engenharia. Os ensaios mecânicos têm como objetivo auxiliar na caracterização e parametrização do comportamento mecânico dos materiais. Para isto, corpos de prova são submetidos à diferentes aplicações de carga, definindo, assim, características importantes destes materiais, como resistência à tração e compressão, deformação, entre outros.

Levando em consideração materiais nãotecidos, as normas mais utilizadas para realização de ensaios mecânicos são regidas pela EDANA, associação europeia de *nonwovens*. Entre os ensaios mecânicos mais utilizados pelo mercado está a norma EDANA 20.2-89 (2002), ensaio mecânico de resistência à tração. Esta norma é traduzida e registrada pela ABNT através da NBR 13041-2004. Estas normas resultam em curvas força-deslocamento e o resultado é expresso como a força no momento de ruptura do material. Considerando o comportamento isotrópico dos nãotecidos, a NBR 13041-2004 indica a realização dos ensaios de ruptura nas direções transversal e longitudinal do material.

4. METODOLOGIA

Neste trabalho, para avaliar o nível de absorção do material, será realizada a caracterização da curva e tempo de saturação de nãotecidos hidrofílico e hidrofóbico fabricados a partir de técnicas empregadas em processos *spunbond*, através da utilização do método definido em EDANA 10.4-02 (2002). Corpos de prova de mesma região transversal do nãotecido serão coletados, com o objetivo de reduzir as variações naturais ao processo de fabricação, como a orientação randômica dos filamentos, e analisados de acordo com a norma EDANA 20.2-89 (2002) em condições distintas:

1. Material seco através de condicionamento do ambiente;
2. Material saturado através de saturação em água desmineralizada;

A partir dos resultados obtidos através dos ensaios mecânicos, será realizada análise estatística comparativa com o auxílio de diagrama de caixas e teste de hipóteses t de *Student*. A metodologia de trabalho foi definida a partir das etapas de obtenção dos corpos de prova, condicionamento e caracterização da absorção de umidade das amostras e, por fim, ensaios mecânicos.

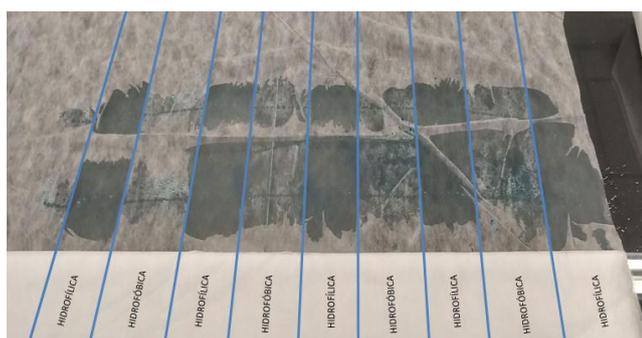
4.1. Obtenção dos Corpos de Prova

Os corpos de prova foram obtidos a partir de amostra coletada pré estiragem do produto em processo de corte. O material estudado possui densidade de 13g/m^2 , sendo parcialmente tratado quimicamente com regiões hidrofílicas de 100 mm e hidrofóbicas de 120 mm, espaçadas em uma largura total de manta de 4400 mm.

Para identificação das zonas fora utilizada solução de água e corante azul, gotejadas linearmente no sentido transversal da manta de nãotecido. A Figura 11 ilustra o procedimento adotado, podendo ser observadas regiões onde existem gotas sobre a superfície do material e regiões com adsorção acelerada.

A partir da coleta, foram adquiridos corpos de prova com o auxílio de gabarito calibrado nas dimensões de 300 mm de altura e 50 mm de largura, respeitando o sentido de produção e seguindo a norma EDANA 20.2-89 (2002).

Figura 11 – Identificação de zonas a partir de solução de água e corante azul.



4.2. Condicionamento e Caracterização da Absorção de Água

4.2.1. Caracterização da Absorção de Água

Para caracterização da absorção de umidade do nãotecido, fora seguida a norma EDANA 10.4-02 (2002), condicionando amostras de nãotecido em forno com temperatura de 50°C . Após este procedimento, as amostras foram alocadas em dessecador a vácuo com dessecante de sílica-gel.

Para definição da curva e tempo de saturação, após resfriadas em dessecador, as amostras foram submersas em água desmineralizada, com auxílio de estrutura metálica, à temperatura ambiente de 23°C , retiradas, levemente secas e pesadas para definição de sua absorção. Processo este realizado de forma periódica, retornando as amostras ao recipiente no fim de cada ciclo.

4.2.2. Condicionamento e Saturação

Para realização do processo de saturação das amostras, estas foram previamente condicionadas em temperatura e umidade ambiente durante 24 horas, no laboratório de ensaio em recipiente aberto ao espaço. Passado o tempo de condicionamento das amostras, todas foram pesadas em balança analítica com resolução de 0,1 mg. Após, estas foram levadas ao processo de

saturação com tempo definido a partir da caracterização realizada em ensaios prévios. Para manter a isonomia do ensaio, as amostras coletadas em zonas distintas foram condicionadas separadamente.

4.3. Ensaio Mecânico

Para estudo da sensibilidade mecânica dos materiais não tecidos frente à diferentes condições de saturação, foram realizados ensaios de tração para obtenção da força de ruptura e alongamento percentual das amostras. Para isto, foi utilizado o equipamento Thwing-Albert 733K, ideal para ensaios em papel, não tecidos e embalagens flexíveis. A norma EDANA 20.2-89 (2002) define velocidade de deslocamento constante de 300 mm/min, utilização de mordentes de 3 polegadas e distância entre mordentes de 200 mm, sendo estes valores configurados previamente no equipamento de ensaios universal.

Os ensaios foram realizados primeiramente nas amostras condicionadas em temperatura e umidade ambiente, partindo da zona hidrofílica para a zona hidrofóbica. Após, foram realizadas as análises nos materiais saturados – partindo das amostras da zona hidrofílica para a zona hidrofóbica. Estas foram ensaiadas imediatamente após seu processo de condicionamento, evitando sua perda de saturação.

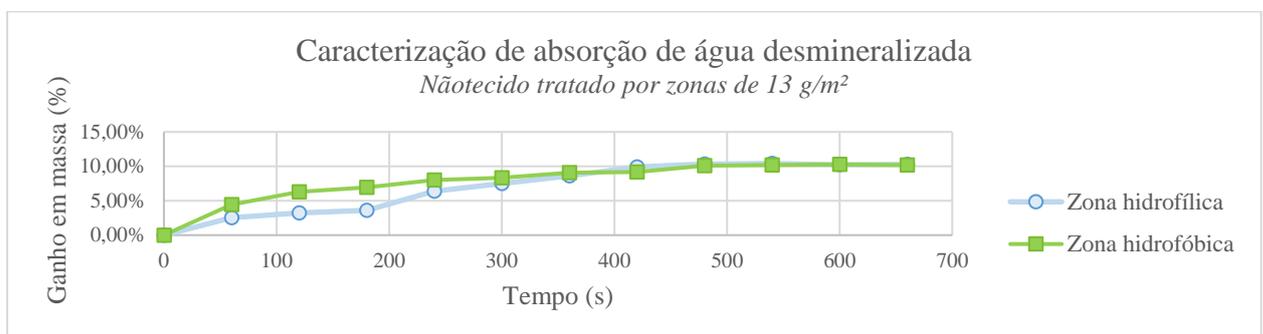
Os dados coletados de cada ensaio trazem valores de deslocamento em mm e força em Newton, sendo estes capturados pelo equipamento em frequência definida. Estes foram tratados posteriormente para que trouxessem valores de alongamento percentual e força máxima de ruptura.

5. RESULTADOS

5.1. Caracterização da Absorção de Água

Pela pequena espessura do material, o intervalo de tempo de análise determinado para pesagem das amostras fora de 60 segundos. A curva de saturação mostrada na Figura 12 encontra estabilidade a partir de 8 minutos, aproximadamente, sendo esta a definição de tempo para condicionamento de cada amostra.

Figura 12 – Curva de saturação para zonas hidrofílica e hidrofóbica de não tecido de densidade de 13 g/m².



Os materiais hidrofílicos naturalmente possuem molhabilidade superior podendo ocorrer a submersão direta das amostras em água. Entretanto, com molhabilidade inferior, o processo de saturação é dificultado devido à tensão superficial superior da zona hidrofóbica. Desta forma, ambas amostras foram submersas em água desmineralizada com o auxílio de estrutura metálica, seguindo as orientações da EDANA 10.4-02 (2002).

A Figura 12 evidencia que o tratamento termoquímico não influencia diretamente nos resultados de saturação do produto. Já a região livre presente na trama, ponderando que as amostras foram coletadas próximas o suficiente para esta consideração, demonstra ter caráter significativo no processo de saturação destes produtos considerando igualdade entre as zonas. Os resultados, desta forma, representam curvas de caráter Fickiano e acelerada saturação.

Após a definição do tempo necessário para saturação dos materiais, os corpos de prova foram condicionados em água desmineralizada obtendo ganho em peso mínimo de 10%. O ganho em peso de cada amostra analisada se encontra no Apêndice A.

5.2. Ensaio Mecânico

Com a realização dos ensaios mecânicos nos corpos de prova condicionados, os dados foram coletados e tratados para obtenção dos valores máximos de força de ruptura e alongamento percentual. Desta forma, as curvas de força e deslocamento foram adquiridas para 28 corpos de prova, onde maiores detalhes destes podem ser observados no Apêndice B.

O comportamento apresentado pelas curvas da Figura 13 e Figura 14 atendem ao modo de falha esperado para os materiais TNT, de acordo com o exposto em Adanur e Liao (1999). As curvas resultantes deste estudo se assemelham à curva de materiais dúcteis, conforme a Figura 5. Além disso, os corpos de prova hidrofílicos e hidrofóbicos apresentam curvas semelhantes em diferentes condições de saturação, indicando, assim, não alteração de resposta mecânica destes produtos quando expostos à estas condições.

Figura 13 – Curvas de Força x Deslocamento obtidas a partir dos ensaios mecânicos em TNT 13g/m² hidrofílico.

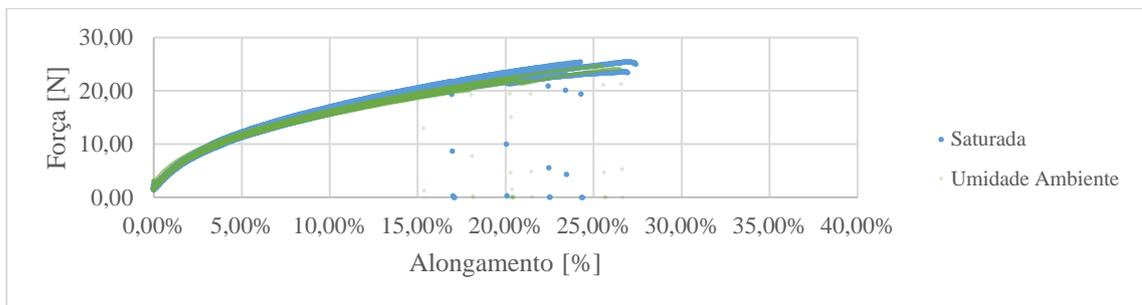
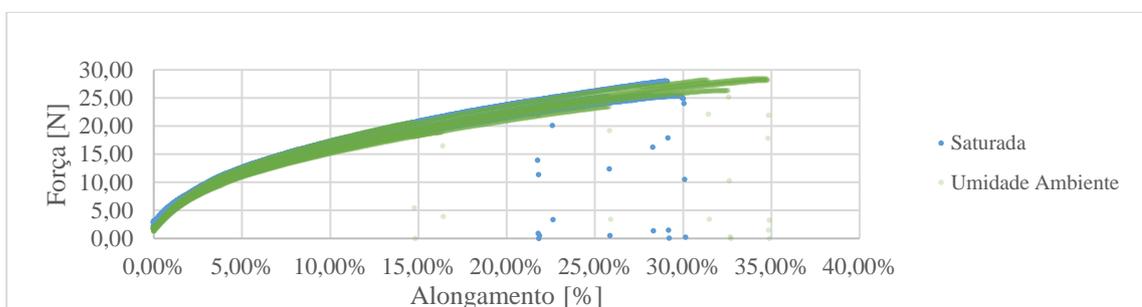


Figura 14 - Curvas de Força x Deslocamento obtidas a partir dos ensaios mecânicos em TNT 13g/m² hidrofóbico.

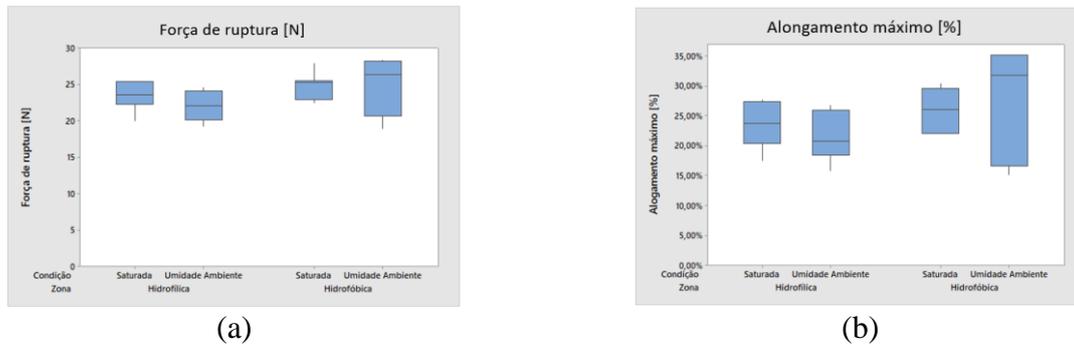


5.2.1. Análise Estatística: Diagrama de Caixas e Teste t de Student

Para garantir que valores atípicos não fossem considerados na análise, fora utilizada, previamente, técnica de identificação de *outliers*, exposta no Apêndice C. A Figura 15 traz os

resultados para a força de ruptura e alongamento percentual, respectivamente, em diagramas de caixa.

Figura 15 – Diagramas de caixas para resultados obtidos de (a) força de ruptura e (b) alongamento percentual máximo dos materiais hidrofílicos e hidrofóbicos em condições distintas de saturação.



A notável semelhança entre as distribuições para ambos materiais é facilmente observada, indicando possível igualdade entre os resultados mecânicos quando estes produtos estão secos ou saturados. Este resultado é exposto a partir da realização de teste de hipótese de t de *Student*, observado na Tabela 1. Para um nível de significância de 5%, aceita-se a hipótese nula de igualdade entre médias com valor-p maior que 0,05.

Tabela 1 – Teste de hipóteses t de *Student*

| Zona | Condição | N | Força de ruptura | | | Alongamento máximo | | |
|-------------|------------------|---|------------------|---------------|---------|--------------------|---------------|---------|
| | | | Média | Desvio Padrão | Valor-p | Média | Desvio Padrão | Valor-p |
| Hidrofílica | Saturada | 7 | 23,38 | 1,87 | 0,23 | 23,43% | 3,68% | 0,352 |
| Hidrofílica | Umidade Ambiente | 7 | 22,08 | 1,96 | | 21,44% | 3,97% | |
| Hidrofóbica | Saturada | 7 | 24,94 | 1,84 | 0,97 | 25,95% | 3,66% | 0,652 |
| Hidrofóbica | Umidade Ambiente | 7 | 24,88 | 3,92 | | 27,60% | 8,57% | |

Desta forma, condições de armazenamento que propiciem a condensação de vapor d'água armazenado entre as camadas do produto durante processo produtivo, a possível elevação de umidade do material, inferior à estudada neste trabalho, não altera o desempenho mecânico deste material. Entretanto, este resultado é significativo para tempos de estocagem reduzidos, onde os efeitos de hidrólise não são considerados.

6. CONCLUSÃO

Com a presente metodologia experimental foi possível obter a resposta mecânica dos materiais nãotecidos em diferentes condições de absorção de água, permitindo avaliar a sensibilidade das características mecânicas a ambientes com diferentes umidades.

Os resultados das análises físicas demonstraram que ambos não tecidos, hidrofóbicos e hidrofílicos, apresentaram absorções de água similares. Este evento provavelmente está relacionado ao fato de que a absorção de água destes produtos tem relação direta com a distribuição transversal dos filamentos que propiciam regiões livres no material. A metodologia aplicada demonstra este resultado, uma vez que os corpos de prova foram coletados lado a lado garantindo distribuições similares e ambos foram submersos com estrutura auxiliar, excluindo a variável de molhabilidade das zonas.

Através de análises estatísticas aplicadas aos resultados obtidos nos ensaios mecânicos dos materiais tecidos não-tecidos, evidencia-se que a saturação do produto não causa mudanças significativamente estatísticas na força de ruptura e alongamento percentual máximo destes materiais. Este resultado foi observado em ambas as regiões do material, ou seja, hidrofílicas e hidrofóbicas. Provavelmente isto se deve a própria absorção similar entre estes.

Levando em consideração a aplicação do material em indústrias de transformação, o resultado serve como indicador de que a resposta mecânica do produto não é alterada frente a condições de saturação. Seja na etapa de estocagem, onde o material está exposto a condições de temperatura e umidade distintas à qual foi produzido, seja no processo de transformação da matéria prima em produtos, que também podem estar sujeitas a variações de umidade.

A metodologia deste trabalho não leva em consideração possíveis efeitos de hidrólise, que necessitaria de tempo significativamente mais longo, e devem ser consideradas caso o material esteja em condição saturada por longos períodos, como na estocagem. Nesta situação pode ocorrer condensação do vapor de água durante processo de embalagem, que quando confinado, mantém a umidade para saturação enquanto estiver estocado.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABINT – **Associação Brasileira das Indústrias de Não tecidos e Tecidos Técnicos**. Disponível em: <http://www.abint.org.br/naotecidos.html>. Acessado em 10/03/2021.

ABNT NBR 12546: **Materiais Têxteis – Ligamentos fundamentais de tecidos planos – Terminologia**, 09/2017.

ADANUR, S.; LIAO, T. **Fiber arrangement characteristics and their effects on nonwoven tensile behavior**, 1999.

BENVEGNO, THAMY **Estudo das propriedades estruturais, mecânicas, hidrofílicas e de permeabilidade de não tecidos Spunbonded e SMS**, 2016.

BRASKEM. **Busca de produtos**. Disponível em: <https://www.braskem.com.br/busca-de-produtos>. Acessado em 17/03/2021.

DALTIN, D. **Tensoativos: química, propriedades e aplicações**. São Paulo: Blucher, 2011.

DE SOUZA, CLARA SILVESTRE **Variação de temperatura e umidade e suas influências nas características físicas e mecânicas dos fios de algodão**, 2011

DEMIRCI, E.; ACAR, M.; POURDEYHIMI B.; SILBERSCHMIDT, V. V. **Computation of mechanical anisotropy in thermally bonded bicomponent fibre nonwovens**, 2011

EDANA – **European Disposables and Nonwovens Associaton**. Disponível em: <https://www.edana.org/nw-related-industry/what-are-nonwovens>. Acessado em 10/03/2021

EDANA 20.2-89 **Recommended Test Method: Nonwovens Tensile Strength**, 2002.

EDANA 10.4-02 **Recommended Test Method: Nonwovens Absorption**, 2002.

FAN, X. **Mechanics of Moisture for Polymers: Fundamental Concepts and Model Study**. 9th. Int. Conf. on Thermal, Mechanical and Multiphysics Simulation and Experiments in Micro-Electronics and Micro-Systems, EuroSimE. 2008. p. 1-14.

LIN, J.; XU, Z.; LEI, C. **Effect of fiber arrangement on the mechanical properties of thermally bonded nonwovens fabrics**, 2003.

NBR 13370: **Nãotecido – Terminologia**, 09/2017.

NWSP 130.1 (05) – **Standard Test Method for Mass per Unit Area**.

SMITH, W. F.; HASHEMI, J. **Fundamentos de Engenharia e Ciência dos Materiais**, 5ª ed., São Paulo: McGraw-Hill, 2012.

THWING-ALBERT. Disponível em: <https://www.thwingalbert.com/733k-pneumatic-grips-500-n-100-lbf.html>

8. APÊNDICES

APÊNDICE A – Ganho em peso para zonas hidrofílica e hidrofóbica

| Amostra | Zona | Condição | Peso - UA [g] | Peso - Saturada [g] | Ganho em peso [%] |
|---------|-------------|---------------|---------------|---------------------|-------------------|
| 1 | Hidrofílica | Saturada | 0,193 | 0,2276 | 17,93% |
| 2 | Hidrofílica | Saturada | 0,1857 | 0,206 | 10,93% |
| 3 | Hidrofílica | Saturada | 0,1883 | 0,2142 | 13,75% |
| 4 | Hidrofílica | Saturada | 0,1884 | 0,2122 | 12,63% |
| 5 | Hidrofílica | Saturada | 0,1852 | 0,2192 | 18,36% |
| 6 | Hidrofílica | Saturada | 0,1861 | 0,2118 | 13,81% |
| 7 | Hidrofílica | Saturada | 0,1887 | 0,2209 | 17,06% |
| | | Média | 0,1879 | 0,2160 | 14,93% |
| | | Desvio Padrão | 0,0027 | 0,0071 | 2,86% |
| Amostra | Zona | Condição | Peso - UA [g] | Peso - Saturada [g] | Ganho em peso [%] |
| 1 | Hidrofóbica | Saturada | 0,1775 | 0,1957 | 10,25% |
| 2 | Hidrofóbica | Saturada | 0,1797 | 0,2053 | 14,25% |
| 3 | Hidrofóbica | Saturada | 0,1788 | 0,2209 | 23,55% |
| 4 | Hidrofóbica | Saturada | 0,1798 | 0,2203 | 22,53% |
| 5 | Hidrofóbica | Saturada | 0,1894 | 0,2169 | 14,52% |
| 6 | Hidrofóbica | Saturada | 0,1893 | 0,2107 | 11,30% |
| 7 | Hidrofóbica | Saturada | 0,1804 | 0,2113 | 17,13% |
| | | Média | 0,1821 | 0,2116 | 16,22% |
| | | Desvio Padrão | 0,0050 | 0,0090 | 5,18% |

APÊNDICE B – Quantidade de análises por condição estudada

| Condição | Zona hidrofílica | Zona hidrofóbica |
|-------------------------------------|------------------|------------------|
| Corpos de prova saturados | 7 | 7 |
| Corpos de prova em umidade ambiente | 7 | 7 |

APÊNDICE C – Testes de Grubbs para identificação de outliers, realizado com auxílio de software estatístico

Resultados para Zona = Hidrofílica

| Teste de Grubbs | | | | | | | | |
|-----------------------|------------------|---|--------|---------|--------|--------|------|-------|
| Variável | Condição | N | Média | DesvPad | Mín | Máx | G | P |
| Força de ruptura [N] | Saturada | 7 | 23,383 | 1,871 | 19,989 | 25,406 | 1,81 | 0,215 |
| | Umidade Ambiente | 7 | 22,079 | 1,964 | 19,241 | 24,704 | 1,44 | 0,867 |
| Alogamento máximo [%] | Saturada | 7 | 0,2343 | 0,0368 | 0,1739 | 0,2772 | 1,64 | 0,464 |
| | Umidade Ambiente | 7 | 0,2144 | 0,0397 | 0,1567 | 0,2690 | 1,45 | 0,846 |

* NOTA * Nenhum outlier no nível de significância 5%

Resultados para Zona = Hidrofóbica

Teste de Grubbs

| Variável | Condição | N | Média | DesvPad | Mín | Máx | G | P |
|-----------------------|------------------|---|--------|---------|--------|--------|------|-------|
| Força de ruptura [N] | Saturada | 7 | 24,935 | 1,841 | 22,385 | 28,015 | 1,67 | 0,409 |
| | Umidade Ambiente | 7 | 24,88 | 3,92 | 18,92 | 28,43 | 1,52 | 0,692 |
| Alogamento máximo [%] | Saturada | 7 | 0,2595 | 0,0366 | 0,2202 | 0,3042 | 1,22 | 1,000 |
| | Umidade Ambiente | 7 | 0,2760 | 0,0857 | 0,1511 | 0,3522 | 1,46 | 0,836 |

* NOTA * Nenhum outlier no nível de significância 5%

APÊNDICE D – Testes t de Student realizados com auxílio de software estatístico

