



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA  
ENG07053 - TRABALHO DE DIPLOMAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA



# **Estudo das propriedades estruturais, mecânicas, hidrofílicas e de permeabilidade de nãotecidos *Spunbonded e SMS***

*Autora: Thamy Chisté Benvegnú*

*Orientadores: Isabel Cristina Tessaro*

*Jordana Corralo Spada*

Porto Alegre, julho de 16

## Sumário

Agradecimentos	iii
Resumo	iv
Lista de Figuras	v
Lista de Tabelas	vi
Lista de Abreviaturas e Siglas	vii
1 Introdução	1
2 Fundamentos Teóricos e Revisão Bibliográfica	2
2.1 Não tecidos	2
2.2 Polipropileno	3
2.3 Surfactante	5
2.4 Processos de Produção	7
2.4.1 Tecnologia <i>Spunbonded</i>	7
2.4.2 Tecnologia <i>Meltblown</i>	8
2.4.3 Tecnologia <i>SMS</i>	9
3 Fitesa Não tecidos S.A.	10
4 Metodologia	11
4.1 Materiais	11
4.2 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	12
4.3 Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR)	12
4.4 Propriedades mecânicas	12
4.5 Permeabilidade ao ar	12
4.6 Permeabilidade à urina sintética (Teste de <i>Strike-through</i> )	13
4.7 Impedimento do retorno da urina sintética (Teste de <i>Rewet</i> )	13
4.8 Teste de <i>Run off</i>	14
4.9 Análise Estatística	15
5 Resultados e Discussão	16
5.1 Análise estrutural e mecânica	16
5.2 Análise de hidroflicidade	20
6 Conclusão e Sugestões para Trabalhos Futuros	24
Referências	26

## **Agradecimentos**

Agradeço meus pais por terem sempre me incentivado e confiado no meu potencial. Obrigada pelas tantas vezes que deixaram de fazer o que queriam para priorizaram meus desejos e tornarem meus sonhos realidade. Todas as minhas conquistas foram possíveis porque tive a melhor estrutura familiar que alguém pode ter. Obrigada pelas palavras de consolo, pelos colos nos momentos difíceis e pela comemoração em cada pequena realização. Obrigada à minha irmã Suany pelo suporte de sempre. Ao Marcelo, meu obrigado pelo apoio, paciência e amizade durante todos esses anos.

Aos amigos, agradeço por entenderem os momentos em que precisei estar ausente ou que estiveram presentes para me ajudar. Obrigada Amanda e Renata por terem me ajudado nos momentos difíceis e tornado esses anos de estudos muito mais divertidos.

Aos colegas da Fitesa Nãotecidos, meu muito obrigado pelos ensinamentos e pelos ótimos momentos vividos diariamente. É maravilhoso trabalhar com pessoas que tenho tanto carinho. Um agradecimento especial ao Rodolfo Almeida pelos ensinamentos técnicos que foram de grande valia para a elaboração desse trabalho.

Agradeço minha orientadora Isabel e co-orientadora Jordana pelos conhecimentos compartilhados e comprometimento durante os meses que trabalhamos juntas. Por fim, agradeço a Universidade Federal do Rio Grande do Sul, seu corpo docente e funcionários por lutarem para formar profissionais bem preparados e conscientes da realidade do seu país. Obrigada por não desistirem e por superarem diariamente as dificuldades impostas.

## Resumo

O não tecido é um material plástico que tem aplicações em diversas áreas como a agrícola, de higiênicos descartáveis, de decoração, materiais filtrantes, entre outros. Devido a essa vasta utilização, o setor de não tecidos está em constante crescimento e desenvolvimento de novas tecnologias com o intuito de otimizar economicamente o processo e produzir materiais cada vez melhores para os consumidores. O presente trabalho tem como objetivo analisar os materiais chamados de *Spunbonded* e *SMS*, os quais são constituídos basicamente por polipropileno (PP). O material *Spunbonded* recebe o nome da técnica pela qual ele é produzido. Nela, filamentos contínuos de polipropileno são formados e organizados de forma aleatória ao longo de uma esteira. O material *SMS* é fabricado através da tecnologia *Spunbonded* unida à tecnologia *Meltblown* a qual é capaz de formar filamentos mais finos e de menor comprimento se comparados aos filamentos da tecnologia *Spunbonded*. O estudo em questão tem como objetivo analisar as propriedades estruturais, mecânicas e a hidrofilicidade dos não tecidos hidrofílicos e hidrofóbicos fabricados através das tecnologias citadas. Para atingir tal objetivo foram realizados testes de espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), microscopia eletrônica de varredura (MEV), resistência à tração, permeabilidade ao ar e de hidrofilicidade (*Strike*, *Rewet* e *Run off*). Através das análises realizadas foram observadas diferenças e semelhanças entre os materiais. Apesar da grande similaridade entre os espectros de FTIR, as amostras exibiram diferenças microestruturais claras: o produto *Spun* apresentou somente filamentos grossos, enquanto que o produto *SMS* apresentou filamentos grossos e finos com uma estrutura muito mais fechada. Não foram identificadas diferenças na resistência mecânica dos materiais estudados, porém foi observado que os produtos *Spunbonded* são consideravelmente mais permeáveis ao ar do que os produtos *SMS*. De forma geral, os resultados de *Strike* dos produtos *Spun* foram menores que os observados nos materiais *SMS*, enquanto que o contrário foi notado para a análise de *Rewet*. Foram realizadas análises de hidrofilicidade em materiais com concentrações maiores e menores de surfactante que o padrão, e mesmo aplicando uma quantidade maior de surfactante, o produto *SMS* continuou apresentando valores mais altos de *Strike*. Dessa forma, foi concluído que as diferenças notadas nos resultados das análises que avaliam propriedades mecânicas e de hidrofilicidade são decorrentes da resistência imposta pelos filamentos formados na tecnologia *Meltblown*. Pode-se concluir que os materiais de tecnologias diferentes possuem características diferentes e esse fato não necessariamente é negativo, o que deve acontecer é a avaliação de quais propriedades se deseja para cada tipo de utilização.

## Lista de Figuras

<b>Figura 2.1:</b> Demanda de PP em 2003. Fonte: adaptado de PASQUINI (2005).....	2
<b>Figura 2.2:</b> Demanda de PP em 2003. Fonte: adaptado de PASQUINI (2005).....	4
<b>Figura 2.3:</b> Estrutura molecular do polipropileno. Fonte: CRQ4 (2016).....	4
<b>Figura 2.4:</b> Representação de uma molécula de tensoativo. Fonte: Daltin, 2012.....	5
<b>Figura 2.5:</b> Ilustração do ângulo de contato entre superfície sólida e gota de líquido. Fonte: Netz, 2008 .....	6
<b>Figura 2.6:</b> Esquema ilustrativo do processo de formação do não tecido. Fonte: adaptado de EDANA (2016) .....	7
<b>Figura 2.7:</b> Esquema de calandragem da manta. Fonte: adaptado de Mehta (2016).....	8
<b>Figura 2.8:</b> Figura esquemática do processo de aplicação de surfactante pelo método <i>kiss roll</i> . Fonte: Reicofil (2016) .....	8
<b>Figura 2.9:</b> Esquema do processo de estiramento dos filamentos na tecnologia <i>Meltblown</i> . Fonte: Mehta (2016) .....	9
<b>Figura 2.10:</b> Figura ilustrativa de material SMS. Fonte: Derekduck (2016) .....	9
<b>Figura 4.1:</b> Representação do prato de <i>Strike-thought</i> . Fonte: adaptado de NWSP (2015) .....	13
<b>Figura 4.2:</b> Representação da mesa de <i>Run off</i> . Fonte: adaptado de NWSP 080.9 (2015)	14
<b>Figura 5.1:</b> Espectros de FTIR dos materiais <i>Spunbonded</i> Hidrofílico e Hidrofóbico.....	16
<b>Figura 5.2:</b> Espectros de FTIR do material <i>SMS</i> Hidrofílico e Hidrofóbico .....	17
<b>Figura 5.3:</b> Micrografias do material <i>Spunbonded</i> Hidrofóbico. (a) Aumento de 100 x. (b) Aumento de 500 x. ....	18
<b>Figura 5.3:</b> Micrografias do material <i>Spunbonded</i> Hidrofílico. (a) Aumento de 100 x. (b) Aumento de 500 x. ....	18
<b>Figura 5.5:</b> Micrografias do material <i>SMS</i> Hidrofóbico (a) Aumento de 100 x. (b) Aumento de 500 x. ....	19
<b>Figura 6.6:</b> Micrografias do material <i>SMS</i> Hidrofílico. (a) Aumento de 100 x. (b) Aumento de 500 x. ....	19

## Lista de Tabelas

<b>Tabela 2.1:</b> Propriedades físicas do polipropileno. Fonte: BRASKEM (2016), PASQUINI (2005).....	5
<b>Tabela 4.1:</b> Porcentagem de surfactante presente em cada uma das amostras estudadas. ....	11
<b>Tabela 5.1:</b> Valores de resistência à tração no sentido do comprimento da manta e permeabilidade ao ar para os materiais estudados. ....	19
<b>Tabela 5.2:</b> Resultados do teste t das análises de <i>Strike</i> e <i>Rewet</i> dos não tecidos hidrofílicos <i>Spunbonded</i> e <i>SMS</i> com concentração padrão .....	20
<b>Tabela 5.3:</b> Resultados das análises de <i>Strike</i> , <i>Rewet</i> e percentual de surfactante dos não tecidos hidrofílicos <i>SMS</i> com concentração padrão, concentração maior e menor que a padrão de surfactante .....	21
<b>Tabela 5.4:</b> Resultados das análises de <i>Strike</i> , <i>Rewet</i> e percentual de surfactante dos não tecidos hidrofílicos <i>Spunbonded</i> com concentração padrão, concentração maior e menor que a padrão de surfactante.....	22
<b>Tabela 5.5:</b> Resultados da análise d <i>Run off</i> para os não tecidos <i>Spunbonded</i> e <i>SMS</i> com concentração padrão de surfactante. ....	23

**Lista de Abreviaturas e Siglas**

PP – Polipropileno

TNT – Tecido Não-tecido

*SMS – Spunbonded Meltblown Spunbonded*

MEV – Microscopia Eletrônica de Varredura

FTIR - Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier

NWSP – Nonwovens Standard Procedures

mL – Mililitro

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABINT – Associação Brasileira das Indústrias de Não-tecidos

*Spun - Spunbonded*

## 1 Introdução

O termo não tecido não é muito conhecido pela sociedade em geral, contudo esse é um produto que se tornou indispensável no dia-a-dia das pessoas, no mundo todo. Usado principalmente na confecção de fraldas e absorventes, o não tecido é um material que vem ganhando cada vez mais importância na economia brasileira. Por exemplo, além da praticidade, outra característica das fraldas descartáveis é a evolução tecnológica que elas sofreram desde sua criação. Hoje, é possível encontrar no mercado diversos tipos que diferem pela sua funcionalidade, melhorando a vida da mãe e do bebê. Com novos sistemas de absorção, as fraldas permitem que o bebê permaneça seco por mais tempo, aguentando diversas horas de sono, sem que haja vazamentos. Segundo dados da Associação Brasileira da Indústria de Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosméticos (ABIHPEC), o Brasil é o terceiro país que mais movimenta o setor de fraldas descartáveis. Em 2014, o mercado brasileiro fez circular 2,46 milhões de dólares, ficando atrás apenas de China e Estados Unidos.

Em alguns casos, erroneamente, os termos tecido e não tecido são usados como sinônimos, porém esses materiais são estruturalmente bem diferentes. Tecido é uma estrutura produzida pelo entrelaçamento de um conjunto de fios de urdume e outro conjunto de fios de trama, formando ângulo de (ou próximo a) 90°. O não tecido, por sua vez, é uma estrutura plana, flexível e porosa, constituída de véu ou manta de fibras ou filamentos, orientados em uma direção ou ao acaso, consolidados por processo mecânico (fricção) e/ou químico (adesão) e/ou térmico (coesão) ou uma combinação destes. Embora possam ser fabricados com diversos tipos de materiais, por exemplo, viscose, lã e poliéster, os não tecidos estudados nesse trabalho possuem como matéria-prima principal o polipropileno.

Para a realização desse estudo, foram escolhidos dois materiais da empresa Fitesa Não tecidos S.A. que fazem uso de tecnologias diferentes: o *Spunbonded* e o *SMS*. Esses materiais são usados em fraldas para fazer o envelopamento da massa celulósica e do gel presentes na fralda. As principais matérias-primas utilizadas nos dois produtos estudados são o polipropileno (PP) e um tipo de surfactante comercial; o PP é o material que constitui a estrutura do não tecido e o surfactante é uma substância aplicada após a formação da manta, e tem como objetivo tornar o não tecido hidrofílico. Por questões econômicas e técnicas, se deseja obter o desempenho exigido pelo cliente (propriedades hidrofílicas) com a menor aplicação possível de surfactante.

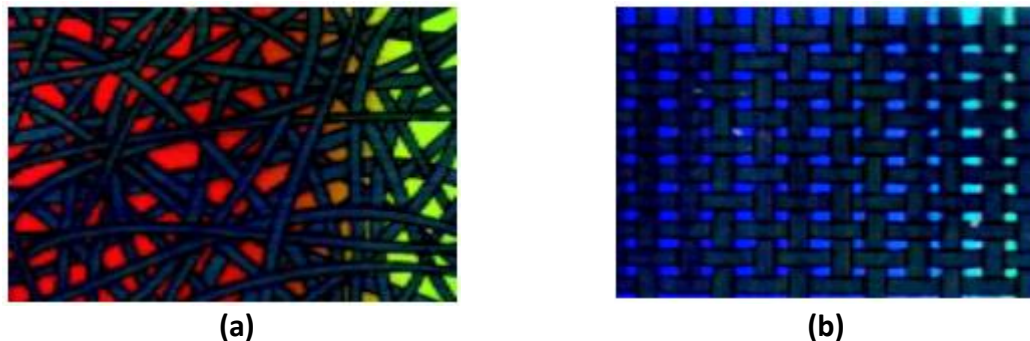
Levando em consideração o fato de existirem poucos trabalhos publicados que avaliam e relacionam os não tecidos fabricados pelas tecnologias *Spunbonded* e *Spunbonded/Meltblown*, o estudo em questão tem como objetivo analisar as propriedades estruturais, mecânicas e a hidrofiliabilidade dos não tecidos *Spunbonded* e *SMS* hidrofóbicos e hidrofílicos (adição de surfactante). Para que o objetivo firmado seja atingido, foram realizadas análises estruturais e morfológicas (FTIR e MEV), análise de propriedades mecânicas, permeabilidade ao ar e de hidrofiliabilidade dos materiais (*Strike*, *Rewet* e *Run off*). O maior entendimento dos fenômenos observados nos materiais torna possível o desenvolvimento de novos produtos que unam as funcionalidades dos dois materiais e a elaboração de novas especificações técnicas.



## 2 Fundamentos Teóricos e Revisão Bibliográfica

### 2.1 Não tecidos

Conforme a ABNT/TB-392, tecido é uma estrutura produzida pelo entrelaçamento de um conjunto de fios de urdume e outro conjunto de fios de trama, formando ângulo de (ou próximo a) 90°. A norma define urdume como sendo o conjunto de fios dispostos na direção longitudinal (comprimento) do tecido, e trama é o conjunto de fios dispostos na direção transversal (largura) do tecido. Já o não tecido, conforme a norma NBR-13370, é uma estrutura plana, flexível e porosa, constituída de véu ou manta de fibras ou filamentos, orientados em uma direção ou ao acaso, consolidados por processo mecânico (fricção) e/ou químico (adesão) e/ou térmico (coesão) ou combinação destes. Na Figura 2.1 estão apresentadas imagens ilustrativas que evidenciam diferenças estruturais entre um não tecido (a) e um tecido (b).



**Figura 2.1:** Imagens ilustrativas das diferenças estruturais entre um não tecido (a) e um tecido (b). Fonte: ABINT (2016)

Como descrito no manual “Classificação, identificação e aplicações de não tecidos” produzido pela ABINT, os não tecidos podem ser classificados quanto à sua gramatura, formação da manta, consolidação da manta e matérias-primas utilizadas. Quando à gramatura, são classificados como:

- Leve - menor que 25 g/m<sup>2</sup>;
- Médio - entre 26 e 70 g/m<sup>2</sup>;
- Pesado - entre 71 e 150 g/m<sup>2</sup>;
- Muito pesado - acima de 150 g/m<sup>2</sup>.

Quanto à formação da manta, a classificação pode ser conforme apresentado a seguir.

- **Via Seca:** nessa classificação estão incluídos os processos Via Carda e Via Aérea/Fluxo de ar. No processo Via Carda (Carded), as fibras são paralelizadas por cilindros recobertos de “dentes penteadores” que formam mantas anisotrópicas, podendo essas mantas, às vezes, serem cruzadas em camadas. No processo Via Aérea/Fluxo de Ar, as fibras são suspensas em fluxo de ar e depois são coletadas numa tela formando a manta;

- **Via Úmida:** as fibras são suspensas em meio aquoso e depois são coletadas através de filtração por um anteparo, em forma de manta. Tanto no processo via seca quanto no via úmida, as matérias primas estão na forma de fibra;

- **Via Fundida:** nesse processo estão incluídos os não tecidos produzidos via extrusão, que são os de fiação contínua (*Spunweb/Spunbonded*) e via sopro (*Meltblown*). Esses processos trabalham com matéria-prima na forma de péletes (materiais plásticos). No processo *Spunweb/Spunbonded*, o polímero termoplástico é fundido através de uma “fieira”, é resfriado, estirado, e posteriormente depositado sobre uma esteira em forma de véu ou manta. No processo *Meltblown*, o polímero termoplástico fundido passa através de uma “fieira” com orifícios muito pequenos, e imediatamente um fluxo de ar quente solidifica a massa em fibras muito finas, que são sopradas em alta velocidade para uma tela coletora formando a manta.

Após a formação do véu ou da manta é necessário realizar a consolidação (união das fibras ou filamentos), que em grande parte dos não tecidos também dão o acabamento necessário para o produto final. A consolidação pode ser:

- mecânica (fricção) - nessa categoria estão incluídos os processos de agulhagem, hidroentrelaçamento e costura;

- química (adesão) - essa consolidação é chamada de resinagem, em que os ligantes químicos (resinas) realizam a união das fibras ou filamentos do não tecido;

- térmica (coesão) - as ligações das fibras ou filamentos do não tecido são realizadas pela ação de calor, através da fusão das próprias fibras ou filamentos. Neste caso, pode ser usado o processo de calandragem (*Calender Bonding*) ou o processo de consolidação pela passagem de ar quente em cilindro perfurado (*Through-Air Bonding*).

Na maioria dos casos, as fibras/filamentos representam a principal matéria-prima na fabricação dos não tecidos. As principais matérias-primas utilizadas são:

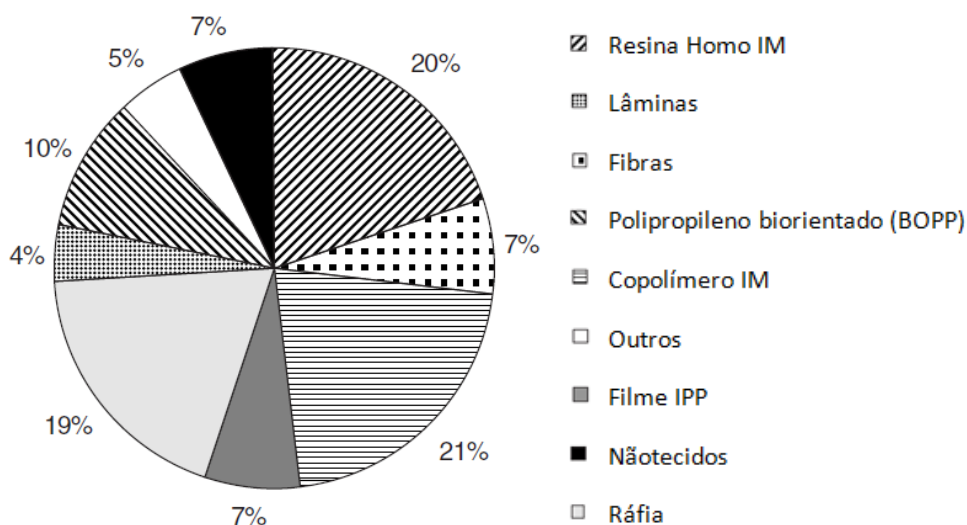
- artificiais - viscosa, vidro, silicone, acetato;
- naturais - lã, algodão, coco, sisal, cashmere, asbesto, metálicas (níquel-cromo, cério-cromo) e cerâmicas;
- sintéticas - poliéster, polipropileno, poliamida (nylon), poliácridonitrila (acrílico), polietileno, policarbonato.

Embora seja possível fabricar não tecidos com diversos tipos de matérias-primas, no presente trabalho foram utilizados somente não tecidos à base de polipropileno. Após a formação da manta, alguns desses materiais foram submetidos a um processo de aplicação de surfactante via *kiss roll* com o intuito de tornar o material hidrofílico. Dessa forma, esses materiais serão apresentados mais detalhadamente a seguir.

## 2.2 Polipropileno

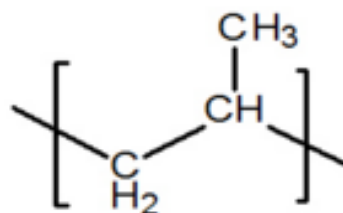
O polipropileno está entre os três mais importantes plásticos em uma classificação por vendas, fato este que pode ser explicado pelo seu baixo custo de produção e grande versatilidade de aplicação (SMITH, 2012). Na Figura 2.2 é possível observar a demanda de

polipropileno no ano de 2003; a indústria de não tecidos nesse ano foi responsável pelo consumo de 7 % da fabricação mundial desse material.



**Figura 2.2:** Demanda de PP em 2003. Fonte: adaptado de PASQUINI (2005)

O polipropileno é um polímero derivado dos monômeros propeno ou propileno e pode ser moldado usando apenas o aquecimento. Sua estrutura é formada por enlaces simples carbono-carbono e carbono-hidrogênio. Trata-se de um polímero pertencente à família das poliolefinas (polietilenos entre outros) e sua estrutura molecular consiste de um grupo metilo ( $\text{CH}_3$ ) unido a um grupo vinilo ( $\text{CH}_2$ ) (Figura 2.3).



**Figura 2.3:** Estrutura molecular do polipropileno. Fonte: CRQ4 (2016)

As principais características desse polímero estão relacionadas à sua leveza, baixa absorção de água, e boa resistência química, exceto na presença de alguns solventes clorados, gasolina e xileno que podem afetar sua estrutura (HARPER, 2000).

Além das propriedades supracitadas, o PP também é um plástico atóxico que possui alta resistência à fratura por flexão e boa resistência ao impacto em temperaturas acima de  $15^\circ\text{C}$ ; como limitações apresenta sensibilidade aos raios UV e agentes oxidantes. Na Tabela 2.1 estão apresentadas importantes propriedades físicas do polipropileno.

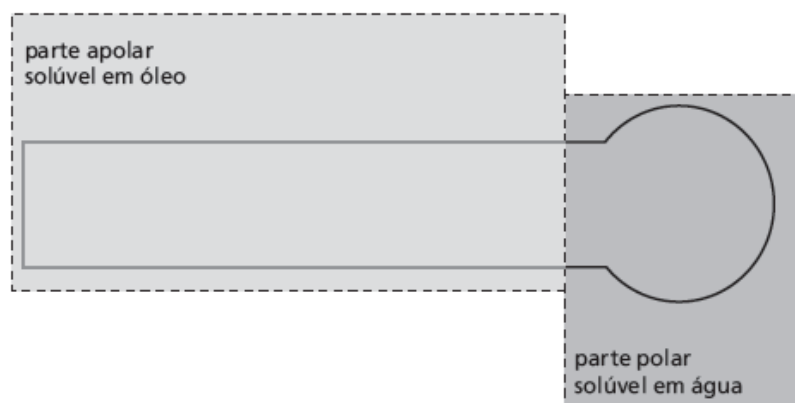
**Tabela 2.1:** Propriedades físicas do polipropileno. Fonte: BRASKEM (2016), PASQUINI (2005)

Propriedade	Valor
Índice de Fluidez (g/10min)	35 a 41 900 a 1500
Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	0,905, amorfo 0,946, cristalino
Temperatura de fusão (°C)	162

Devido às características e propriedades mencionadas anteriormente, o polipropileno é amplamente aplicado em diversas áreas. Dentre as principais aplicações, pode-se citar: embalagens, rótulos, fibras para tecidos (usadas em cordas, carpetes e roupas íntimas), artigos de papelaria, equipamentos de laboratório, peças automotivas, utensílios domésticos, móveis, sacos para grãos, copos descartáveis, seringas de injeção, tampas de garrafa PET ou de vidro, peças de eletrodomésticos, objetos para construção civil, recipientes resistentes a solventes, ácidos e bases, mantas absorventes de material oleoso e objetos diversos.

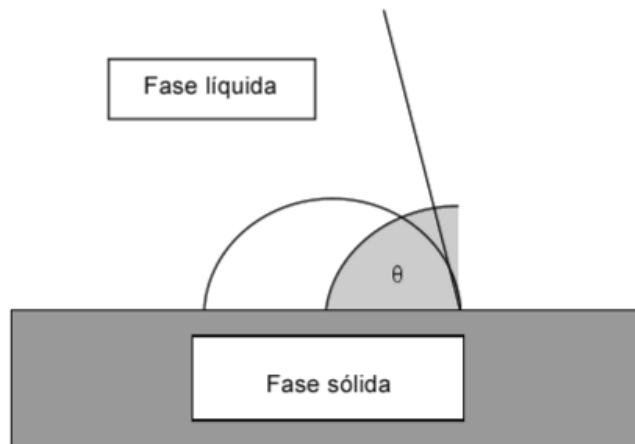
### 2.3 Surfactante

Surfactante ou tensoativo é um tipo de molécula anfipática, ou seja, que possui características hidrofóbicas (representadas pela parte apolar da molécula) e hidrofílicas (relacionadas à presença de um grupo polar). Para representar esse tipo de molécula, costuma-se usar a figura de uma barra que representa a parte apolar da molécula, portanto solúvel em óleos, gorduras e hidrocarbonetos e um círculo que representa a sua parte polar, solúvel em água, como representado na Figura 2.4 (DALTIM, 2012).

**Figura 2.4:** Representação de uma molécula de tensoativo. Fonte: Daltin, 2012

Essas substâncias possuem a capacidade de reduzir a tensão superficial de líquidos e, conseqüentemente, aumentar ou tornar possível a molhabilidade de superfícies sólidas. Compostos que possuem alta tensão superficial tendem a formar gotas esféricas sobre superfícies sólidas, o que faz com que essas superfícies não sejam molhadas, já que as moléculas apresentam forte atração entre si e tendem a se manter juntas. Quando a tensão superficial é menor, a gota passa a tomar forma de lente, ou seja, possui ângulo de contato menor e, conseqüentemente, maior molhabilidade. Na Figura 2.5 está demonstrada uma gota líquida sobre uma superfície sólida e o ângulo de contato entre os

dois meios. Quando o ângulo  $\theta$  formado for igual à zero a superfície é considerada perfeitamente molhante, quando o ângulo  $\theta$  for menor que  $90^\circ$  a superfície é considerada hidrofílica, quando o ângulo  $\theta$  for maior que  $90^\circ$  a superfície é considerada hidrofóbica e quando o ângulo  $\theta$  for igual a  $180^\circ$  a superfície não apresenta molhabilidade.



**Figura 2.5:** Ilustração do ângulo de contato entre superfície sólida e gota de líquido. Fonte: Netz, 2008

Segundo Daltin (2011), os tensoativos podem ser classificados como aniônicos, catiônicos, não iônicos e anfóteros, conforme segue:

- **tensoativos aniônicos** – são aqueles que possuem carga negativa na região polar. Constituem a classe de tensoativos mais usados na indústria; são os usados em xampus, sabonetes e detergentes;
- **tensoativos catiônicos** – possuem carga positiva na região polar. No Brasil, praticamente todos os que estão comercialmente disponíveis possuem um nitrogênio quaternário. Esse nitrogênio, por ser mais eletronegativo que o carbono, atrai parcialmente os elétrons envolvidos na ligação. Como os elétrons possuem carga negativa, há uma neutralização parcial da carga positiva do tensoativo, reduzindo a polaridade da região polar. Essa polaridade atenuada reduz a solubilidade em água dos tensoativos catiônicos. Assim, os tensoativos catiônicos são, normalmente, menos solúveis em água que os tensoativos aniônicos. Essa diferença de solubilidade faz com que esses dois tipos de tensoativos sejam utilizados em diferentes aplicações;
- **tensoativos não iônicos** – não possuem carga na região polar. São compatíveis com a maioria das matérias-primas utilizadas em cosméticos, possuem baixa irritabilidade à pele e aos olhos, alto poder de redução da tensão superficial e interfacial e baixos poderes de detergentência e espuma. Estas características permitem que estes tensoativos sejam utilizados principalmente como agentes emulsionantes;
- **tensoativos anfóteros** – em meio alcalino esses tensoativos se comportam como aniônicos, pois a alta concentração de hidroxilas neutraliza a carga positiva. Já em

meio ácido comportam-se como tensoativos catiônicos. Os tensoativos anfóteros são compatíveis com os tensoativos aniônicos e catiônicos.

## 2.4 Processos de Produção de não tecidos

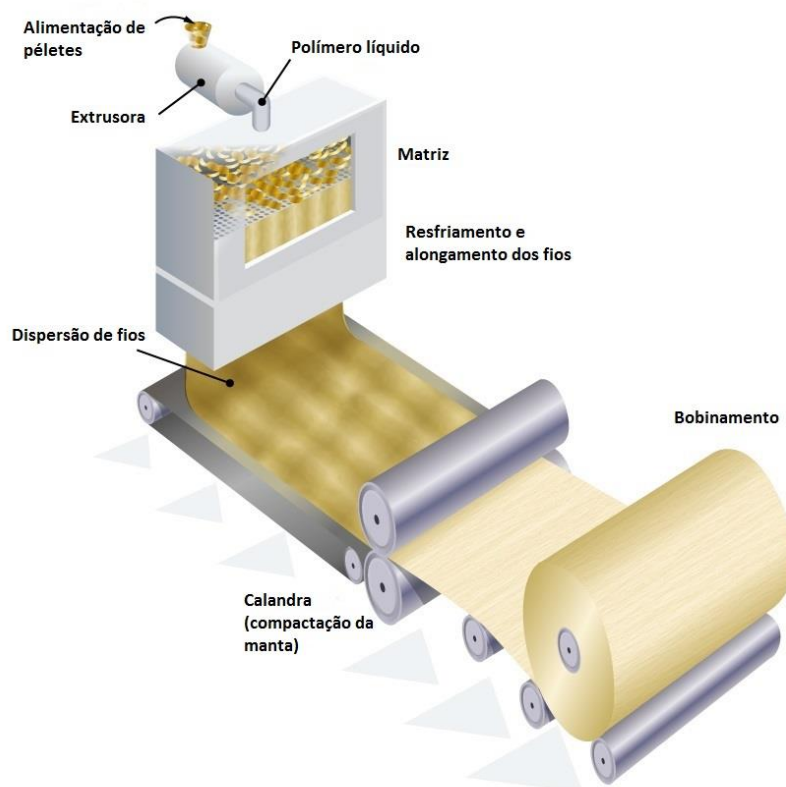
Conforme comentado anteriormente, o processo de formação da manta pode ocorrer via fundida. No estudo em questão foram analisados materiais de duas linhas da Fitesa Não tecidos S.A. que fazem uso deste tipo de tecnologia, como os materiais produzidos através das tecnologias *Spunbonded* e *Spunbonded/Meltblown*. Os itens a seguir relatam brevemente essas tecnologias.

### 2.4.1 Tecnologia *Spunbonded*

Na tecnologia *Spunbonded*, o material produzido é formado por filamentos contínuos, resultando em um produto com alta resistência mecânica.

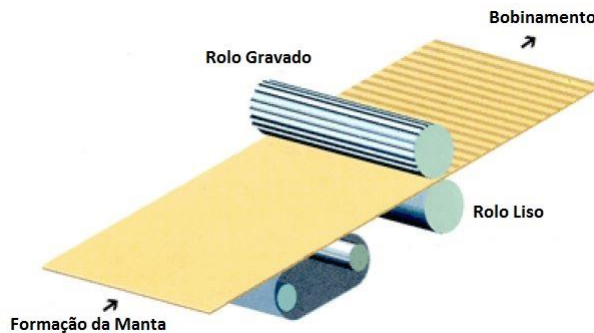
Neste processo, polímero na forma de pellets, o *masterbatch* (pigmento) e demais aditivos são alimentados em uma extrusora do tipo parafuso. Em seguida, esse material fundido passa por fieiras (matrizes de fiação). Nessa etapa do processo são formados filamentos contínuos que em seguida são estirados, arrefecidos e depositados sobre uma esteira transportadora para formar uma trama uniforme. Devido ao calor presente no material, pode iniciar nesse momento o processo de adesão entre um filamento e outro, mas esse não é o processo principal de união (EDANA, 2016).

Na Figura 2.6 é demonstrado de forma esquemática e resumida o processo de extrusão do não tecido.



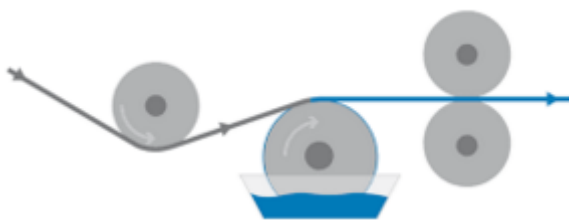
**Figura 2.6:** Esquema ilustrativo do processo de formação do não tecido. Fonte: adaptado de EDANA (2016)

Após a deposição dos filamentos sobre a esteira transportadora, o material passa pelo processo de calandragem que consiste na passagem da manta por rolos que farão a compactação do material e, conseqüente, formação da manta. Geralmente, um dos rolos é liso, ou seja, não possui ranhuras e o outro é o chamado “rolo gravado”. Esse rolo possui ranhuras ou desenhos que ficarão impressos no material após sua passagem pelo rolo. Tal processo pode ser visualizado na Figura 2.7.



**Figura 2.7:** Esquema de calandragem da manta. Fonte: adaptado de Mehta (2016)

Após a formação da manta, é possível que seja feita aplicação de um surfactante para tornar o material hidrofílico. O PP é um material originalmente apolar, ou seja, não possui afinidade com a água; nos casos em que se deseja que o material seja hidrofílico (materiais para fraldas, absorventes...) é feita a aplicação de um surfactante. Essa aplicação é feita no chamado *kiss roll*. Nesse equipamento, a manta de não tecido passa por um rolo posicionado sobre uma bandeja de surfactante que gira com velocidade pré-determinada, enquanto a manta de não tecido passa sobre essa estrutura. A quantidade de surfactante aplicada pode ser controlada através da velocidade de rotação do *kiss roll*. Em seguida, o material passa por um tambor secador a fim de retirar a umidade excessiva. Na Figura 2.8 é mostrado o processo de aplicação de surfactante.



**Figura 2.8:** Figura esquemática do processo de aplicação de surfactante pelo método *kiss roll*. Fonte: Reicofil (2016)

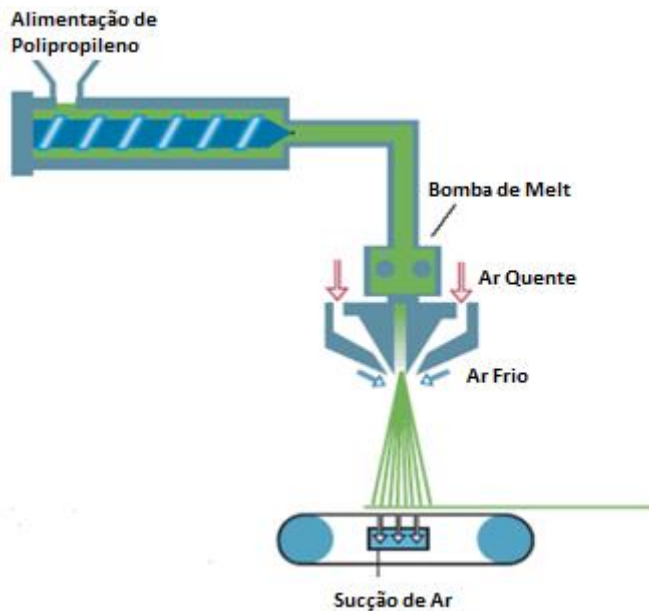
No final do processo, o material é enrolado em um eixo e assim são formados os rolos jumbos. Em seguida, o rolo jumbo é transportado até as máquinas de corte onde o material será cortado em bobinas. Por fim, essas bobinas serão embaladas em filme plástico e serão armazenadas no estoque.

#### 2.4.2 Tecnologia *Meltblown*

Com relação ao processo produtivo, a diferença entre as tecnologias *Spunbonded* e *Meltblown* é a forma com que os filamentos são estirados. No processo em questão, o estiramento é realizado por um forte fluxo de ar quente que faz com que os filamentos

formados sejam curtos e tenham menor diâmetro. Esses filamentos são sobrepostos formando várias camadas, enquanto que no processo *Spunbonded* são formados filamentos contínuos e pouco sobrepostos. Além disso, a matéria-prima utilizada é diferente. No processo *Spunbonded* é utilizado PP de baixo índice de fluidez, enquanto que no *Meltblown* é utilizado PP de alto índice de fluidez.

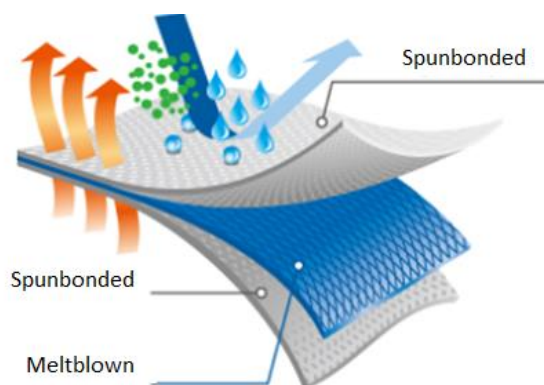
Na Figura 2.9 está demonstrado o processo de estiramento dos filamentos na tecnologia *Meltblown*.



**Figura 2.9:** Esquema do processo de estiramento dos filamentos na tecnologia *Meltblown*. Fonte: Mehta (2016)

### 2.4.3 Tecnologia SMS

O processo que envolve a fabricação de produtos SMS une as tecnologias *Spunbonded* e *Meltblown*. O produto final é composto por duas camadas de *Spunbonded* e uma camada de *Meltblown*. Tal estrutura faz com que se chegue a um produto final que possui as características de resistência mecânica típicas de produtos *Spunbonded*, mas também que possua as características de filtração de produtos *Meltblown*. Assim, a união dessas tecnologias torna possível a fabricação de um produto muito mais versátil e completo. Na Figura 2.10 está demonstrado um produto SMS.



**Figura 2.10:** Figura ilustrativa de material SMS. Fonte: Derekduck (2016)



### **3 Fitesa Não tecidos S.A.**

A Évora S.A. é uma "holding company" que atua globalmente por meio de suas controladas, na industrialização e comercialização de não tecidos de polipropileno (através da Fitesa), de latas de alumínio para bebidas (através da Crown Embalagens), de tampas plásticas (através da America Tampas) e de florestamento (através da Rio Novo Florestal).

Fundada em 1973 em Eldorado do Sul (RS) pela Petropar (atual Évora), a Fitesa tinha como objetivo produzir embalagens de polipropileno, bases para carpetes e fibras para aplicações têxteis. Com o passar do tempo foi identificado um novo nicho de mercado e a empresa, em 1988, passou a produzir não tecidos *Spunbonded*, fato que fez com que ela migrasse para tecnologias mais sofisticadas e iniciasse a produção de descartáveis higiênicos.

Hoje, a empresa opera diferentes tecnologias de processo para a fabricação de não tecidos, incluindo *spunmelt*, cardado e laminação, permitindo a comercialização de materiais para as mais diversas aplicações. Com plantas distribuídas em oito países (Brasil, Peru, México, Estados Unidos, Itália, Alemanha, Suécia, e China), a Fitesa é uma das líderes na produção de não tecidos com especialização no fornecimento de materiais para os mercados higiênico, médico e industrial.

## 4 Metodologia

### 4.1 Materiais

Para o estudo em questão, foram coletadas diferentes amostras de materiais com gramatura de  $10 \text{ g m}^{-2}$  produzidos em duas diferentes linhas da Fitesa Não-tecidos S.A.. A seguir, estão descritos os materiais utilizados nesse estudo.

- *Spunbonded* Hidrofóbico Branco.
- *Spunbonded* Hidrofílico Branco - concentração padrão de surfactante.
- *Spunbonded* Hidrofílico Branco - concentração maior que a padrão de surfactante.
- *Spunbonded* Hidrofílico Branco - concentração menor que a padrão de surfactante.
- SMS Hidrofóbico Branco.
- SMS Hidrofílico Branco - concentração padrão de surfactante.
- SMS Hidrofílico Branco - concentração maior que a padrão de surfactante.
- SMS Hidrofílico Branco - concentração menor que a padrão de surfactante.

Na Tabela 4.1 estão descritos os intervalos de porcentagem de surfactante presentes em cada uma das amostras.

**Tabela 4.1:** Porcentagem de surfactante presente em cada uma das amostras estudadas.

Amostra	Nível de concentração de surfactante	Porcentagem de Surfactante (%)
<i>Spunbonded</i> Hidrofílico	padrão	0,83 a 1,07
<i>Spunbonded</i> Hidrofílico	maior	1,10 a 1,30
<i>Spunbonded</i> Hidrofílico	menor	0,11 a 0,23
SMS Hidrofílico	padrão	0,91 a 1,55
SMS Hidrofílico	maior	1,59 a 1,95
SMS Hidrofílico	menor	0,81 a 0,90

As amostras hidrofóbicas e as amostras hidrofílicas com concentração padrão de surfactante foram retiradas quando em fase de rolo jumbo. As amostras com concentrações de surfactante diferentes do padrão foram produzidas por alteração da rotação do *kissroll* no fim do período de produção dos materiais em estudo e retiradas de bobinas.

Após a coleta, os materiais foram armazenados em sacos plásticos e mantidos em laboratório à temperatura e umidade controladas para a realização das análises.

A fim de testar a absorção dos diferentes materiais foi preparada uma solução aquosa com NaCl com o intuito de simular a urina de bebês, doravante esta solução será denominada urina sintética.

#### 4.2 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A microestrutura dos materiais *Spunbonded* e *SMS* foi analisada através de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) (Hitachi, modelo TM 3000, Japão). Para tanto, as amostras foram anexadas em stubs com o auxílio de uma fita de carbono dupla face e analisadas nas magnitudes de 100 e 500 X com uma aceleração potencial de 15 kV.

#### 4.3 Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR)

A estrutura química dos materiais foi verificada através de espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier. Para tanto, os materiais foram submetidos à análise em um espectrômetro FTIR (IRAffinity-1, Shimadzu) na região de 400 a 4000  $\text{cm}^{-1}$ , com resolução de 4  $\text{cm}^{-1}$ .

#### 4.4 Propriedades mecânicas

Os testes de resistência mecânica foram realizados no equipamento Vantage<sup>NX</sup> Universal Testing Machine (Thwing-Albert), seguindo a norma NWSP 110.4. Foram cortadas cinco amostras com 5 cm de largura e 30 cm de comprimento e, em seguida, foram presas entre as garras do equipamento e submetidas ao teste de resistência mecânica à tração. O equipamento fornece como resposta valores de resistência à tração e porcentagem de alongamento, porém, nesse trabalho só serão analisados os valores de resistência. Na Tabela 4.2 estão descritas as condições as quais foram realizados os testes de resistência.

**Tabela 4.2:** Condições utilizadas no teste de resistência mecânica

Propriedade	Valor
Tamanho da amostra (cmxcm)	5 x 30
Velocidade de deslocamento das garras (mm/min)	300
Distância entre as garras (mm)	75

#### 4.5 Permeabilidade ao ar

Os testes de permeabilidade ao ar foram realizados no equipamento FX330 LabAir (Textest Instruments) seguindo a norma NWSP 070.1. Nessa análise, o não tecido é submetido à pressão imposta pela passagem de ar. Na Tabela 4.3 estão descritas as condições utilizadas nos testes de permeabilidade ao ar.

**Tabela 4.3:** Condições utilizadas no teste de permeabilidade ao ar

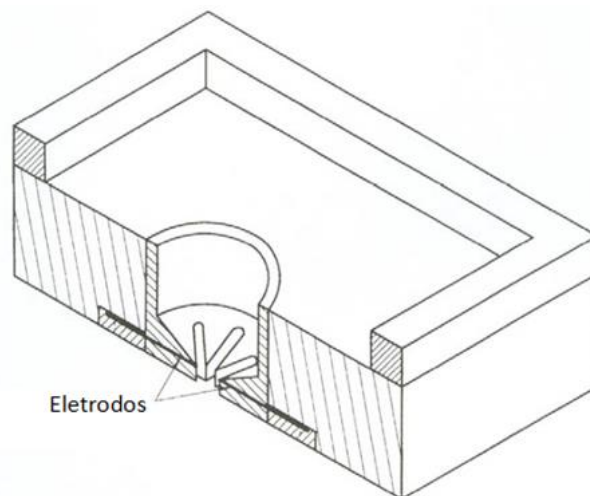
Propriedade	Valor
Tamanho da amostra (mmxmm)	125 x 125
Área de teste ( $\text{cm}^2$ )	38
Pressão de ar (Pa)	125

#### 4.6 Permeabilidade à urina sintética (Teste de *Strike-through*)

Os testes de *Strike-through* foram realizados seguindo a norma NWSP 070.3 e foi utilizado o equipamento Lister AC (Lenzing Instruments). A análise de *Strike* tem como objetivo simular o momento em que o bebê urina sobre a superfície da fralda. Neste caso, mede-se o tempo necessário para que uma quantidade de solução de urina sintética atravesse o não-tecido.

Para a realização dos testes de *Strike* foram cortadas amostras de 125 x 125 mm. Sobre a placa plana de acrílico do equipamento foram organizadas quatro camadas de papel filtro e sobre esse material foi posicionada a amostra de não-tecido. Sobre esse conjunto foi posicionado o prato de *Strike-through*. Esse prato consiste em uma estrutura transparente de acrílico que contém dois eletrodos. São adicionados 5 mL de solução de urina sintética no equipamento e o conjunto montado é encaixado no Lister. Pressiona-se o botão responsável pela liberação da solução sobre o material. Enquanto houver uma camada de solução sobre o material, o contador do equipamento continuará fazendo o registro de tempo, quando toda a solução atravessar o material, o circuito elétrico formado pelos eletrodos e pela solução será interrompido e o contador será pausado. Dessa forma, pode-se afirmar que o teste de *Strike* mede o tempo, em segundos, necessários para que a solução de urina sintética atravesse o material.

Na Figura 4.1 está demonstrado parte de um prato de *Strike* e a localização dos eletrodos.



**Figura 4.1:** Representação do prato de *Strike-thought*. Fonte: adaptado de NWSP (2015)

#### 4.7 Impedimento do retorno da urina sintética (Teste de *Rewet*)

Além dos testes de *Strike-thought*, foram realizados testes de *Rewet* utilizando o equipamento Wetback (Lenzing Instruments) seguindo os procedimentos descritos na norma NWSP 080.10. A análise de *Rewet* tem como objetivo simular o momento em que o bebê senta sobre a fralda. O material que compõe uma fralda deve propiciar que a urina seja rapidamente absorvida pela estrutura da fralda, mas também deve impedir que esse líquido volte a entrar em contato com a pele do bebê, ou seja, deve fazer com que a urina permaneça retida na fralda. Após a realização do teste de *Strike*, foi retirado o prato de *Strike-thought*, e adicionada uma quantidade de líquido (Q), urina sintética, calculada conforme a equação 1:

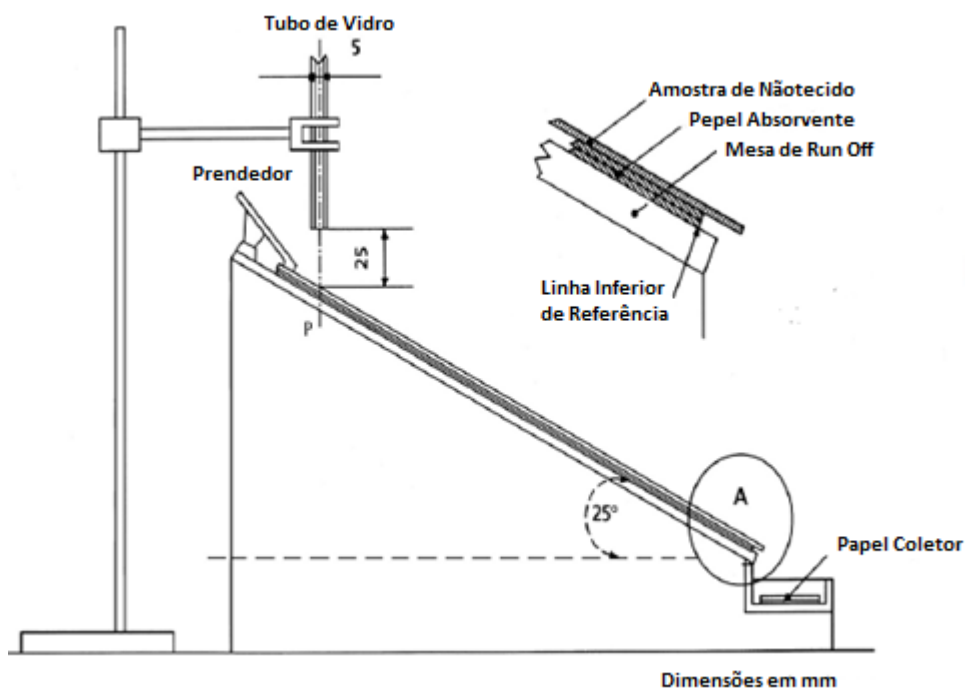
$$Q = LF.W - 5 \quad (1)$$

onde  $Q$  representa a quantidade de líquido a ser adicionado (mL),  $LF$  corresponde ao fator de carga e  $W$  representa a massa do conjunto de papéis filtro de *Strike* (g).

Após a adição da quantidade de urina sintética “ $Q$ ”, foi posicionado um peso de 4 kg sobre o conjunto papel filtro e amostra. Esse peso permaneceu sobre a amostra durante 3 minutos, tempo suficiente para que ocorra a difusão do líquido. Decorrido esse tempo, o equipamento aciona o levantamento do peso. Duas camadas de papel absorvente foram pesadas e posicionadas sobre a amostra de não tecido. Acionou-se o peso novamente. O peso deve permanecer sobre a amostra durante dois minutos. Passado esse tempo, pesa-se novamente os papéis absorventes e determina-se a quantidade de urina sintética que atravessou o não tecido.

#### 4.8 Teste de *Run off*

Além dos testes acima descritos, com o intuito de diminuir a interferência da barreira *Meltblown*, facilitando assim a comparação entre os materiais *Spun* e *SMS*, foi proposta uma nova forma de análise do material: o teste de *Run off*. Foram seguidas as instruções contidas na norma NWSP 080.9. No teste em questão são posicionadas duas folhas de papel filtro de 140 mm x 275 mm sobre a chamada mesa de *Run off* (Figura 4.2) e sobre essa folha é posicionada uma camada de não tecido de mesma largura que o papel filtro, porém com 280 mm de comprimento.



**Figura 4.2:** Representação da mesa de *Run off*. Fonte: adaptado de NWSP 080.9 (2015)

Para esse experimento foi utilizado uma bomba peristáltica (DCM 100, Tecnopon) e a dosagem de solução salina sobre o conjunto não tecido e papel filtro foi de 25 g em 4 segundos. A distância entre o tubo de vidro por onde sai a solução salina e o não tecido foi fixada em 25 mm. Para que seja possível averiguar a quantidade de solução salina que escorreu pela amostra, é posicionado um pedaço de papel filtro na extremidade inferior

da mesa. Esse papel é pesado antes e depois do teste e assim é determinada a massa de solução salina que escorreu pelo material. Em seguida, esse valor é transformado em porcentagem utilizando-se a equação 2:

$$\%RO = \frac{(P1-P2).100}{25} \quad (2)$$

onde: %RO representa o percentual de solução que escorreu pelo material (%), *P1* corresponde à massa final do papel filtro da bandeja (g) e *P2* se refere à massa inicial do papel filtro da bandeja (g).

#### 4.9 Análise Estatística

As análises de resistência mecânica e permeabilidade ao ar foram realizadas em quintuplicata. Para os testes de *Strike*, *Rewet*, e *Run off* dos materiais hidrofílicos com concentração padrão de surfactante, foram retiradas sete amostras ao longo da largura da manta, enquanto que para os testes com concentrações diferentes da padrão foram realizadas cinco medidas.

Para verificar a diferença entre as médias encontradas nos testes de hidrofiliicidade foi realizado o teste *t* de Student utilizando o software Minitab. O teste *t* foi realizado com um nível de confiança de 95%, assumindo variâncias iguais. Para  $p > 0,05$ , pode-se assumir a hipótese nula  $H_0 = 0$ , ou seja, que não existe diferença significativa entre as médias, e se  $p < 0,05$  rejeita-se a hipótese nula.

Além do teste *t*, foram realizados Testes de Tukey com o objetivo de verificar se há ou não diferença nos resultados encontrados.

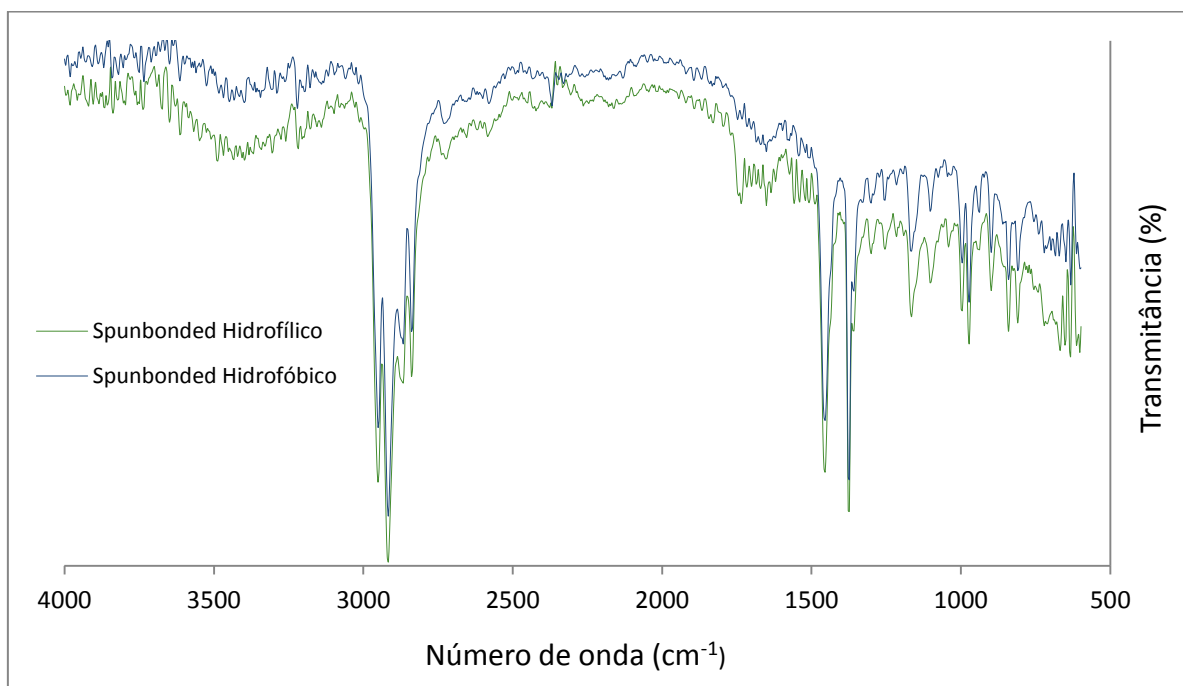
Para verificar se as amostras testadas diferiram quanto aos valores de permeabilidade ao ar e resistência mecânica, os resultados foram analisados estatisticamente usando a Análise de Variância (ANOVA) e o teste de diferenças entre médias (teste de Tukey com  $p < 0,05$ ) através do software Statistica 10.0 para Windows (Statistica 10.0, Statsoft @, Tulsa, OK, USA).

## 5 Resultados e Discussão

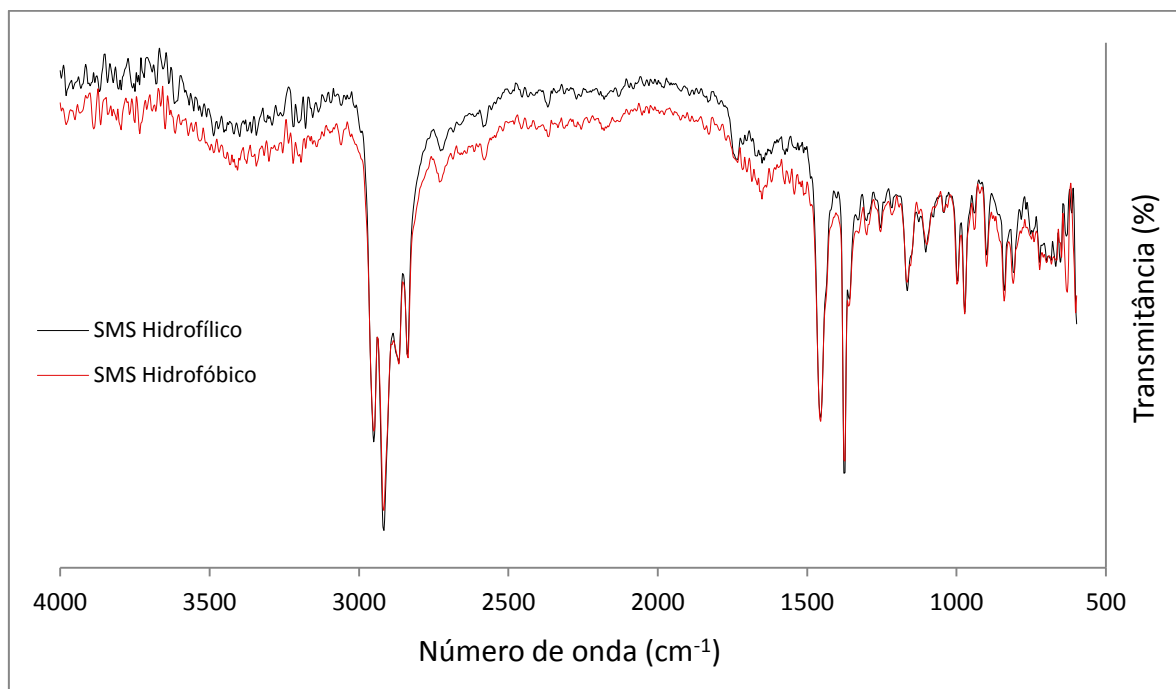
Com o intuito de facilitar a análise dos dados obtidos, os resultados foram divididos em duas partes. No item 5.1 serão apresentados e discutidos os resultados relacionados à análise estrutural e mecânica dos materiais *Spunbonded* e SMS e no item 5.2, os resultados da análise de hidrofiliidade dos materiais hidrofílicos, ou seja, aqueles relacionados aos testes de *Strike*, *Rewet* e *Run off*.

### 5.1 Análise estrutural e mecânica

Os espectros de FTIR obtidos para os materiais *Spunbonded* hidrofóbico e hidrofílico e SMS hidrofóbico e hidrofílico estão apresentados nas Figuras 5.1 e 5.2, respectivamente. Pode-se notar que todos os materiais apresentaram basicamente os mesmos picos característicos, dentre eles destaca-se a absorção na região  $1373\text{ cm}^{-1}$ , característica do grupo funcional  $\text{CH}_3$ , a absorção na região  $1454\text{ cm}^{-1}$  típica de deformação angular  $-(\text{CH}_2)_n-$  e as deformações na região entre  $2960\text{ cm}^{-1}$  e  $2850\text{ cm}^{-1}$  características de grupos CH alifáticos (carbonos primários, secundários e terciários). As absorções presentes nas regiões citadas concordam com os valores encontrados na literatura para o polipropileno virgem (SANTHOSKUMAR, 2010), porém, para as amostras hidrofílicas foram observados pequenos picos na região entre 1740 e 1720. Tal fato pode estar relacionado com a presença de ácidos carboxílicos oriundos do surfactante aplicado. O surfactante utilizado para fabricação dos materiais estudados é um tensoativo não-iônico e, segundo Pedro (2007), esse tipo de surfactante pode conter em sua estrutura ácidos graxos, os quais são representados por picos na região de 1760 a 1710. Através da análise dos espectros de FTIR, foi possível concluir que as diferentes tecnologias não causam alterações expressivas na estrutura química do material e que, para os materiais hidrofílicos foi notada diferença em uma região específica, que pode estar relacionada com a aplicação do surfactante. Dessa forma, pode-se concluir que a diferença observada nos testes de hidrofiliidade entre os materiais hidrofílicos das duas tecnologias estudadas não está relacionada com a estrutura química dos produtos.



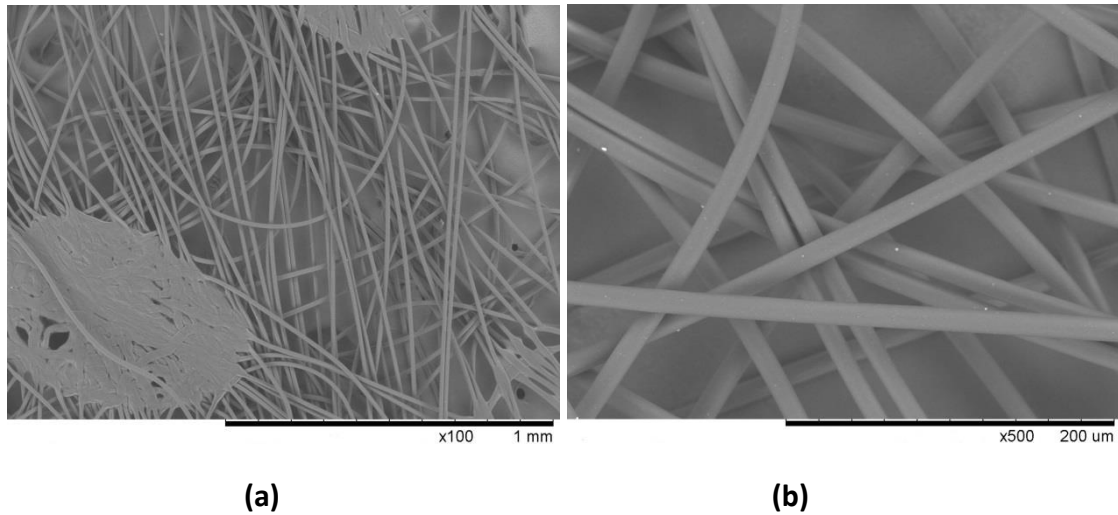
**Figura 5.1:** Espectros de FTIR dos materiais *Spunbonded* Hidrofílico e Hidrofóbico



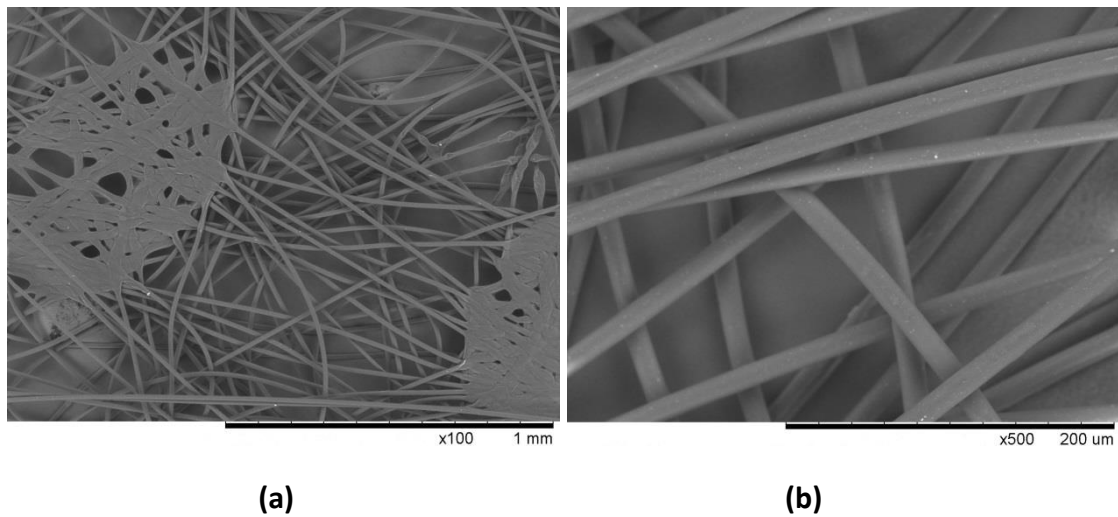
**Figura 5.2:** Espectros de FTIR do material SMS Hidrofílico e Hidrofóbico

Embora não se tenha notado diferença entre os materiais estudados pelas análises de FTIR, nas análises de MEV, a diferença entre as amostras pôde ser claramente observada. Nas Figuras 5.3, 5.4, 5.5 e 5.6, visualizam-se as micrografias obtidas para os materiais *Spunbonded* Hidrofóbico e Hidrofílico e SMS Hidrofóbico e Hidrofílico nas magnitudes de 100 e 500 x. Nota-se claramente que os materiais produzidos com a tecnologia *Spunbonded* apresentaram filamentos mais grossos de diâmetros que variaram de 14 a 17  $\mu\text{m}$  aproximadamente. Tais filamentos estão organizados de forma aleatória com várias lacunas/vazios ao longo do material. Nos materiais SMS, os quais fazem uso das tecnologias *Spunbonded* e *Meltblown*, foram observados os mesmos filamentos apresentados nas imagens de MEV dos materiais *Spunbonded*, porém, além desses, foram identificados filamentos mais finos. Esses filamentos foram produzidos pela tecnologia *Meltblown* e apresentaram diâmetros entre 1,2 e 4  $\mu\text{m}$  aproximadamente. Esses filamentos fazem com que a estrutura do material seja muito mais fechada, com lacunas muito menores que as observadas nos materiais *Spunbonded*. Além disso, não foram observadas diferenças microestruturais relacionadas ao uso do surfactante entre os materiais que fazem uso da mesma tecnologia. Tal fato mostra que o surfactante não afetou de maneira considerável a estrutura química nem morfológica do material.

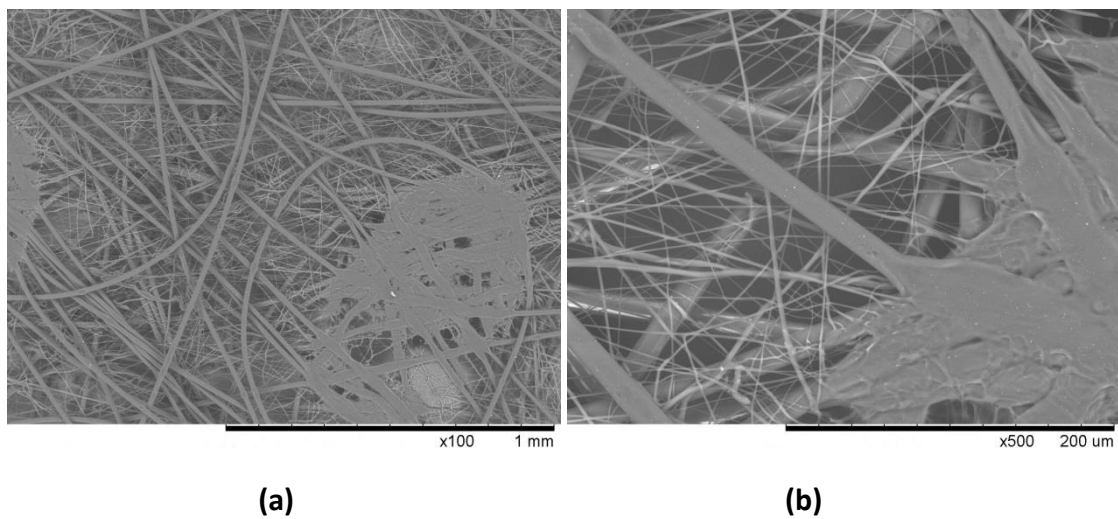




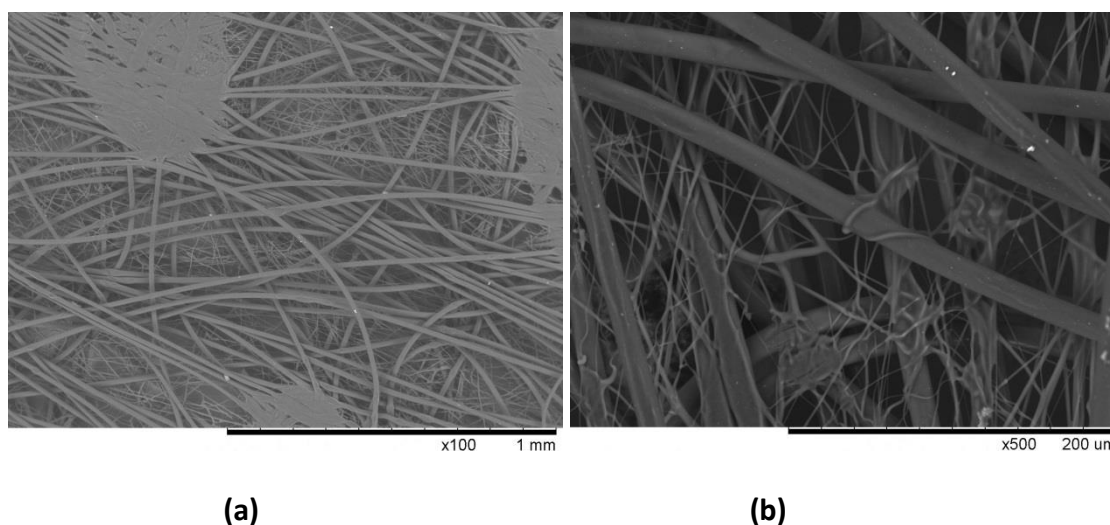
**Figura 5.3:** Micrografias do material *Spunbonded* Hidrofóbico. (a) Aumento de 100 x. (b) Aumento de 500 x.



**Figura 5.3:** Micrografias do material *Spunbonded* Hidrofílico. (a) Aumento de 100 x. (b) Aumento de 500 x.



**Figura 5.5:** Micrografias do material SMS Hidrofóbico (a) Aumento de 100 x. (b) Aumento de 500 x.



**Figura 6.6:** Micrografias do material SMS Hidrofílico. (a) Aumento de 100 x. (b) Aumento de 500 x.

Após a constatação da diferença microestrutural entre os materiais *Spunbonded* e SMS, foram comparados os valores de resistência mecânica e permeabilidade ao ar das amostras em estudo, a fim de identificar se a presença dos filamentos mais finos dos materiais SMS, assim como a presença de surfactante, influenciaria nessas propriedades.

Na Tabela 5.1 estão apresentados os valores de resistência à tração mecânica e permeabilidade ao ar dos materiais estudados.

**Tabela 5.1:** Valores de resistência à tração no sentido do comprimento da manta e permeabilidade ao ar para os materiais estudados.

<i>Análise</i>	<i>Spunbonded</i> Hidrofóbico	<i>Spunbonded</i> Hidrofílico	<i>SMS</i> Hidrofóbico	<i>SMS</i> Hidrofílico
Resistência Mecânica à tração (N/5 cm)	25,3 ± 0,7 <sup>a</sup>	25,1 ± 0,9 <sup>a</sup>	25,3 ± 1,5 <sup>a</sup>	26,2 ± 0,8 <sup>a</sup>
Permeabilidade ao Ar (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /min/Pa)	2,43 ± 0,1 <sup>b</sup>	2,77 ± 0,2 <sup>a</sup>	0,74 ± 0 <sup>c</sup>	0,82 ± 0 <sup>c</sup>

\*Letras distintas na mesma linha diferem significativamente ( $p < 0,05$ ) pelo Teste de Tukey.

Conforme observado na Tabela 5.1, não há diferença significativa entre os valores de resistência mecânica para os materiais.

Ao contrário do observado nos testes de resistência à tração mecânica, onde não foi observada diferença significativa entre as amostras, nas análises de permeabilidade ao ar foram observadas diferenças entre os materiais *Spunbonded* e SMS e entre os materiais *Spunbonded* Hidrofílico e Hidrofóbico. A diferença entre os valores de permeabilidade ao ar para as duas tecnologias pode ser explicada pela estrutura física dos materiais. Como o material SMS possui uma estrutura muito mais fechada, com filamentos grossos e finos, acaba limitando a passagem de ar, ou seja, existe uma maior resistência ao fluxo de ar. Tal característica é interessante quando se deseja um material mais resistente à passagem de gel ou polpa sólida como no caso das fraldas. O material SMS quando usado

no envelopamento da polpa celulósica presente na fralda, impõe maior resistência à passagem desses materiais e, assim, evita que a polpa celulósica e o gel entrem em contato com a pele do bebê. Já a diferença observada nos valores dos materiais *Spunbonded* hidrofílico e hidrofóbico está relacionada com o processo de aplicação do surfactante. Conforme comentado anteriormente, para que o material se torne hidrofílico, é feita aplicação de um tensoativo na manta; essa aplicação é feita via kiss roll, ou seja, a manta precisa passar por mais rolos metálicos do que o material que não receberá a aplicação (hidrofóbico). Tais rolos têm como objetivo tornar possível a aplicação de surfactante, auxiliar na distribuição da emulsão no material e otimizar o contato entre o não tecido e o surfactante. Nesse processo, embora não tenha sido possível visualizar através das análises de MEV, o material é submetido a um estiramento maior, o que faz com que sua estrutura se torne um pouco mais permeável. Não foi observada diferença estatística significativa de permeabilidade ao ar entre os materiais SMS.

## 5.2 Análise de hidrofilicidade

Após as análises estruturais dos materiais, foram realizados testes de hidrofilicidade somente nos materiais *Spunbonded* e SMS hidrofílicos. A fim de mapear o comportamento dos materiais fabricados nas duas tecnologias anteriormente citadas, foram coletadas amostras com concentração padrão de surfactante e com concentrações maior e menor de surfactante, obtidas através de ajustes na máquina. Testes preliminares foram realizados para verificar a faixa de valores de percentual de surfactante possíveis de trabalhar, e os materiais foram agrupados de acordo com esse percentual, como padrão, % de surfactante maior que o padrão e % de surfactante menor que o padrão. Finalizadas os testes de percentual de tensoativo, os valores obtidos para as amostras de *Spunbonded* e SMS chamadas de padrão foram comparados estatisticamente pelo teste t. Neste caso obteve-se um valor de p de 0,056. Dessa forma, pode-se assumir a hipótese nula  $H_0=0$ , ou seja, não é possível concluir que existe uma diferença significativa entre as médias.

Feito o estudo estatístico dos percentuais de surfactante para as amostras fabricadas através de duas tecnologias diferentes, foram realizados testes de *Strike* e *Rewet* a fim de verificar se, utilizando amostras *Spunbonded* e SMS com o mesmo percentual de surfactante, os valores das análises de *Strike* e *Rewet* possuíam diferença. Os valores de *Strike* e *Rewet* das amostras chamadas de padrão foram organizados na Tabela 5.2.

**Tabela 5.2:** Resultados do teste t das análises de *Strike* e *Rewet* dos não tecidos hidrofílicos *Spunbonded* e SMS com concentração padrão

	<i>Strike</i> (s)		<i>Rewet</i> (g)	
	<i>Spunbonded</i>	SMS	<i>Spunbonded</i>	SMS
<b>Média ± Desv. Pad.</b>	2,8 ± 0,2	3,3 ± 0,3	0,7 ± 0,2	2,1 ± 0,4
<b>p valor</b>	0,004		0	
<b>t valor</b>	3,53		7,69	

\*Os valores de t foram obtidos através do teste estatístico t de Student. Se  $p < 0,05$ , há diferença estatística entre as médias.

Analisando os valores da Tabela 5.2, é possível concluir que existe diferença significativa entre os valores de *Strike* e *Rewet* para as amostras de não tecido *Spunbonded* e *SMS*. Tal afirmação é baseada na avaliação dos p valores obtidos (menores que 0,05) e na análise da grandeza do t valor. Para os testes de *Strike*, os valores encontrados nos produtos *Spunbonded* foram aproximadamente 15 % menores que os vistos para o material *SMS* e a diferença observada para a análise de *Rewet* foi de aproximadamente 66 %. Dessa forma, pode-se concluir que, para amostras com a mesma quantidade de surfactante, porém produzidas através de tecnologias diferentes, existe diferença nos valores de *Strike* e *Rewet*. Caso seja desejado que os produtos *SMS* tenham o mesmo desempenho que os produtos *Spunbonded*, alterações nos parâmetros de máquina devem ser realizadas.

Com o intuito de avaliar se as amostras de não tecidos *SMS* podem obter resultados de *Strike* e *Rewet* semelhantes aos encontrados nos materiais *Spunbonded*, foram realizados ajustes na máquina a fim de aplicar uma maior quantidade de surfactante. Os ajustes resultaram em um aumento de aproximadamente 38 % na quantidade de surfactante presente nas amostras. Com o objetivo de avaliar ainda melhor a influência do percentual de surfactante nas amostras dos materiais *SMS*, foram também desenvolvidas amostras com concentração aproximadamente 23 % menor de surfactante. Da mesma forma como foram realizados os testes para as amostras com concentração padrão, foram realizadas análises para a amostra de não tecido *SMS* com concentrações maior e menor que a padrão. Na Tabela 5.3 estão demonstrados os valores de *Strike*, *Rewet* e porcentagem de surfactante das amostras de *SMS* com concentração padrão, concentração maior e menor que a padrão de surfactante.

**Tabela 5.3:** Resultados das análises de *Strike*, *Rewet* e percentual de surfactante dos não tecidos hidrofílicos *SMS* com concentração padrão, concentração maior e menor que a padrão de surfactante

<b>Análise</b>	<b>SMS % padrão</b>	<b>SMS % maior que a padrão</b>	<b>SMS % menor que a padrão</b>
<b>Strike (s)</b>	3,3 ± 0,3 <sup>b</sup>	3,4 ± 0,6 <sup>b</sup>	4 ± 0,3 <sup>a</sup>
<b>Rewet (g)</b>	2,1 ± 0,4 <sup>b</sup>	1 ± 0,3 <sup>c</sup>	3,3 ± 0,2 <sup>a</sup>
<b>% de Surfactante</b>	1,1 ± 0,2 <sup>b</sup>	1,8 ± 0,1 <sup>a</sup>	0,87 ± 0,1 <sup>c</sup>

\*Letras distintas na mesma linha diferem significativamente (p < 0,05) pelo Teste de Tukey.

Como pode ser observado na Tabela 5.3, através da análise de Tukey nota-se que um aumento de 38 % na quantidade de surfactante não altera de forma significativa os valores de *Strike*, enquanto que uma diminuição de aproximadamente 23 % no valor de surfactante resultou em diferenças significativas. Foram observadas diferença nos três valores de *Rewet*, porém, é possível que esse teste não esteja tão relacionado com as propriedades hidrofílicas do material. Os valores de *Rewet* podem estar mais relacionados com a morfologia do material, visto que uma maior quantidade de filamentos faz com que a solução salina seja mais facilmente transportada por capilaridade até a superfície. A diminuição do valor de *Rewet* é positiva, visto que se deseja que a menor quantidade possível de solução salina retorne para o topo do material. Assim, ressalta-se que o teste de *Rewet* não é o mais adequado para avaliar a hidrofiliabilidade do material, visto que os resultados foram influenciados pela estrutura e distribuição dos filamentos contidos nas amostras.

Da mesma forma que foram realizadas análises comparando os materiais *SMS* com diferentes porcentagens de surfactante, o mesmo estudo foi realizado para os materiais *Spunbonded*. Na Tabela 5.4 estão apresentados os valores das análises de *Strike*, *Rewet* e percentual de surfactante dos nãotecidos hidrofílicos *Spunbonded* com concentração padrão, concentração maior e menor que a padrão de surfactante.

**Tabela 5.4:** Resultados das análises de *Strike*, *Rewet* e percentual de surfactante dos nãotecidos hidrofílicos *Spunbonded* com concentração padrão, concentração maior e menor que a padrão de surfactante

<i>Análise</i>	<i>Spunbonded</i> % padrão	<i>Spunbonded</i> maior que padrão	% <i>Spunbonded</i> a menor que a padrão
<i>Strike</i> (s)	2,8 ± 0,2 <sup>b</sup>	2,4 ± 0,1 <sup>b</sup>	7,4 ± 0,6 <sup>a</sup>
<i>Rewet</i> (g)	0,7 ± 0,2 <sup>a</sup>	0,9 ± 0,1 <sup>a</sup>	-
% de <i>Surfactante</i>	1 ± 0,1 <sup>b</sup>	1,2 ± 0,1 <sup>a</sup>	0,2 ± 0,1 <sup>c</sup>

\*Letras distintas na mesma linha diferem significativamente ( $p < 0,05$ ) pelo Teste de Tukey.

É importante ressaltar que não foi possível realizar alterações de porcentagem de surfactante nos materiais *Spunbonded* na mesma magnitude que aquelas realizadas nos nãotecidos *SMS*, porém ainda assim é possível analisar o comportamento geral do material. Conforme pode ser verificado na Tabela 5.4, um aumento de 10 % na aplicação de surfactante não resultou em alterações nos testes de *Strike* nem nos resultados do teste de *Rewet*, porém a redução de 84 % de surfactante fez com que os valores de *Strike* aumentassem significativamente. Devido à baixa quantidade de surfactante, não foi possível realizar testes de *Rewet* na amostra com concentração menor que a padrão. Logo, seria interessante produzir uma maior variedade de materiais com concentrações de surfactante diferentes da padrão para os produtos *Spunbonded* e *SMS* a fim de avaliar com maior clareza a relação entre os dois materiais, quando esses possuem a mesma quantidade de surfactante. Além disso, para avaliar se é possível atingir o valor de *Strike* encontrado nos produtos *Spunbonded*, seria interessante realizar testes aplicando uma maior concentração de surfactante nos materiais *SMS* (maior que 38 %).

Levando em consideração o fato de que, ao comparar os materiais *Spunbonded* e *SMS* com a mesma concentração de surfactante não foram obtidos os mesmos valores para o teste de *Strike-Through* e que o teste de *Rewet* não é a forma mais adequada de avaliar a hidrofilicidade do material, foi proposto um novo método de análise, o teste de *Run off*, como forma de tentar relacionar os materiais que fazem uso de tecnologias diferentes.

Foram realizados testes de *Run off* para os materiais *Spunbonded* e *SMS* padrão seguindo a metodologia descrita na seção 4.8 e os resultados foram analisados através de teste t. Os valores obtidos podem ser observados na Tabela 5.5.

**Tabela 5.5:** Resultados da análise d *Run off* para os nãotecidos *Spunbonded* e *SMS* com concentração padrão de surfactante.

	<i>Spunbonded</i> % padrão	<i>SMS</i> % padrão
<b>Valor de <i>Run off</i> (%)</b>	6,1 ± 1,4	27,7 ± 4,2
<b><i>p</i> valor</b>	0	
<b><i>t</i> valor</b>	-12,96	

\*Os valores de *t* e *p* foram obtidos através do teste estatístico *t* de Student. Se  $p < 0,05$ , há diferença estatística entre as médias.

Analisando o *p* valor e o *t* valor da Tabela 5.5 fica claro que o teste de *Run off*, assim como o teste de *Strike*, resulta em valores diferentes para os materiais de tecnologias diferentes. Esse teste é interessante para avaliar a hidroflicidade de nãotecidos de uma mesma tecnologia, porém apresenta valores bastante distintos quando comparando diferentes tecnologias de nãotecidos. Dessa forma, não se trata de um teste interessante para comparar diretamente materiais de tecnologias diferentes. Analisando os resultados encontrados, é possível concluir que o teste de *Run off* possui melhor aplicação na análise de materiais *Spunbonded*, pois esses produtos permitem que uma menor quantidade de solução salina escorra, assim, se torna mais fácil a averiguação do percentual de *Run off* (para os materiais *SMS* são necessários vários papéis para absorver a grande quantidade de solução salina que escorre pelo nãotecido).

## 6 Conclusão e Sugestões para Trabalhos Futuros

O estudo em questão foi dividido majoritariamente em duas partes: a análise da estrutura dos materiais e influência da aplicação de surfactante nas propriedades mecânicas do material e a avaliação das propriedades de hidrofiliicidade de materiais fabricados com duas tecnologias diferentes. A conclusão geral desse trabalho é que os materiais produzidos pelas tecnologias *Spunbonded* e *Meltblown* apresentaram semelhanças e diferenças microestruturais que explicaram grande parte dos resultados encontrados nas análises mecânicas e de permeabilidade. Cabe ressaltar que as estruturas químicas dos materiais não foram influenciadas pelo processo nem pela presença de surfactante. Além disso, os materiais de tecnologias diferentes possuem características diferentes e esse fato não necessariamente é negativo, o que deve acontecer é a avaliação de quais propriedades se deseja para cada tipo de aplicação.

As conclusões específicas estão listadas a seguir.

- Através das análises de FTIR verificou-se que a matéria-prima do não tecido, o polipropileno, não sofre nenhum tipo de modificação química quando submetido ao processo de extrusão tanto na tecnologia *Spunbonded* quanto na *SMS*. Foi observado um pequeno pico na região entre 1740 e 1720 nos materiais hidrofílicos, esse pico pode estar relacionado com a presença de ácidos carboxílicos derivados do surfactante aplicado.
- A análise de Microscopia Eletrônica de Varredura se mostrou adequada para diferenciar as amostras, visto que foi possível observar microestruturas distintas entre os materiais e não foi observada influência da presença de surfactante na estrutura das amostras.
- Nas análises de permeabilidade ao ar, foram observadas diferenças entre os materiais obtidos das duas tecnologias e pela presença de surfactante (hidrofílicos e hidrofóbicos); essas diferenças observadas corroboram com os resultados encontrados na MEV, visto que a amostra *SMS* apresenta uma estrutura mais fechada, impedindo a passagem de ar. Os valores de permeabilidade ao ar foram estatisticamente diferentes entre as amostras.
- Para análise da hidrofiliicidade dos materiais *Spunbonded* e *SMS*, foram realizados testes de *Strike*, *Rewet* e *Run off*. Embora as duas amostras possuam estatisticamente a mesma quantidade de surfactante, os valores para todas as análises foram diferentes. Esse fato faz com que seja confirmado que a diferença encontrada nos resultados das análises está relacionada com as propriedades estruturais dos materiais.
- O teste de *Run off* pode ser interessante para analisar materiais de mesma tecnologia, mas não é um teste que é capaz de isolar a variável estrutural entre os dois não tecidos. Essa análise resulta em valores diferentes para materiais que possuem a mesma concentração de surfactante, porém foram produzidos através de tecnologias distintas.

Como sugestões para trabalhos futuros, podem ser realizados estudos conforme apresentado a seguir.

- 
- Avaliar como é possível diminuir o *Strike* do material *SMS* a fim de unir as propriedades de permeabilidade ao ar e as propriedades hidrofílicas.
  - Realizar estudos com um maior número de materiais hidrofílicos com concentrações diferentes de surfactante com o objetivo de encontrar a concentração mínima de surfactante necessária para atingir certo valor de *Strike*.
  - Avaliar a porosidade dos materiais, o tamanho dos poros e a sua distribuição para entender melhor os resultados de permeabilidade e resistência à tração.



## Referências

ABINT. Não tecidos. Disponível em: <<http://www.abint.org.br/naotecidos>>. Acesso em: 26 de março 2016.

BRASKEM. Braskem PP Plastic Materials Supplied by multiple manufacturers. Disponível em: <<https://plastics.ulprospector.com/materials/2453/braskem-pp>>. Acesso em: 14 de junho de 2016.

BUTLER, I. INDA Nonwovens Glossary, Cary (EUA): INDA, 2002.

DALTIN, D. Tensoativos: química, propriedades e aplicações. São Paulo: Blucher, 2012.

DEREKDUCK. Fabric Technology. Disponível em: <<http://www.derekduck.com/page/90>> Acesso em 17 de junho de 2016.

DOĞAN, F. Polypropylene. Rijeka (Croácia): InTech, 2012.

EDANA; INDA. NWSP Nonwovens Standard Procedures, 2015.

ÉVORA. Évora Holding Company. Disponível em: <<http://www.evora.com>>. Acesso em: 02 de maio de 2016.

FITESA. Tecnologia. Disponível em: <<http://www.fitesa.com/pt-br/tecnologia>>. Acesso em: 02 de maio de 2016.

GODOY, Priscila. Balanços de massa do processo produtivo de não tecidos. Porto Alegre, 2013.

GLOBAL PLÁSTICOS. Polipropileno: Informações técnicas. Disponível em: <<http://globalplastico.com.br/plasticos-industriais/polipropileno>>. Acesso em: 10 de abril de 2016.

HARPER, C. A. Modern Plastics Handbook. Nova York: McGraw-Hill, 2000.

HORROCKS, A. R.; ANAND, S. C. Handbook of Technical Textiles. Nova York: CRC Press, 2000.

MARONI, L. G.; PUBLIO, W. T.; SAITO, J; LIMA, C. G. Manual de não tecidos: Classificação, identificação e aplicações de não tecidos, São Paulo: ABINT, 1999-2001.

MEHTA, Deven. PP Non woven – a revolutionary fabric. Índia, 2016.

MENDA, M. Química Viva - Plásticos. Disponível em: <[http://www.crq4.org.br/quimicaviva\\_plasticos](http://www.crq4.org.br/quimicaviva_plasticos)>. Acesso em: 10 de abril de 2016.

MINITAB. Why should I use a 2-sample t test. Disponível em: <http://support.minitab.com/en-us/minitab/17/topic-library/basic-statistics-and-graphs/hypothesis-tests/tests-of-means/why-use-2-sample-t/>. Acesso em 11 de junho de 2016.

NETZ, P. A.; ORTEGA, G.G. Fundamentos de físico-química: uma abordagem conceitual para as ciências farmacêuticas. Porto Alegre: Artmed, 2008.

PASQUINI, N. Polypropylene Handbook. 2ª ed., Cincinnati: Hanser Publications, 2005.

PATEL, M.; BHRAMBHATT, D. Nonwoven Technology for Unconventional Fabrics, Vadodara (Índia): M.S University, 2008.

PEDRO, R. Tensoativos – Classificação dos Tensoativos (2007). Disponível em: <[http://www.freedom.inf.br/artigos\\_tecnicos/11062007/classificacao\\_tensoativos.asp](http://www.freedom.inf.br/artigos_tecnicos/11062007/classificacao_tensoativos.asp)>. Acesso em: 08 de maio de 2016.

REICOFIL. Downstream components: Directly influence product properties. Disponível em: <[http://www.reicofil.com/en/pages/downstream\\_components](http://www.reicofil.com/en/pages/downstream_components)>. Acesso em: 10 de abril de 2016.

RESO. Polipropileno: Embalando o Mundo com Eficiência e Praticidade. Disponível em: <<http://resoambiental.com/2015/06/polipropileno-embalando-o-mundo-com-eficiencia-e-praticidade>>. Acesso em 10 de abril de 2016.

RODA, D. T. Polipropileno (PP). Disponível em: <<http://www.tudosobreplasticos.com/materiais/polipropileno.asp>>. Acesso em: 10 de abril de 2016.

SANTHOSKUMAR, AU. Comparison of Biological Activity Transition Metal 12 Hydroxy oleate on Photodegradation of Plastics. J Bioremed Biodegrad (2010).

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

THE MINITAB BLOG. What is a test t?. Disponível em: <<http://blog.minitab.com/blog/statistics-and-quality-data-analysis/what-is-a-t-test-and-why-is-it-like-telling-a-kid-to-clean-up-that-mess-in-the-kitchen>>. Acesso em 11 de junho de 2016.

UOL. Novas tecnologias das fraldas descartáveis melhoram a vida dos bebês. Disponível em: <<http://disneybabble.uol.com.br/br/bebes/novas-tecnologias-das-fraldas-descartaveis-melhoram-vida-dos-bebes>>. Acesso em 26 de março de 2016.

USP. Tabela de Absorção no Infravermelho. Disponível em: <[http://disciplinas.stoa.usp.br/pluginfile.php/258054/mod\\_resource/content/1/TABELA%20DE%20VALORES%20DE%20ABSOR%C3%87%C3%83O%20NO%20INFRAVERMELHO.pdf](http://disciplinas.stoa.usp.br/pluginfile.php/258054/mod_resource/content/1/TABELA%20DE%20VALORES%20DE%20ABSOR%C3%87%C3%83O%20NO%20INFRAVERMELHO.pdf)> Acesso em: 9 de junho de 2016.