

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA DE ENGENHARIA DE LORENA**

Ítalo Ferreira Ancilloti

Comparação entre dispersões poliméricas para aplicação como  
componente *backing* em gramas sintéticas

**Lorena**

**2020**

**ÍTALO FERREIRA ANCILLOTI**

Comparação entre dispersões poliméricas para aplicação como  
componente *backing* em gramas sintéticas

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à Escola de Engenharia  
de Lorena - Universidade de São  
Paulo como requisito parcial para  
obtenção do título de Engenheiro  
Químico.

Orientadora: Prof. Dra. Talita Martins  
Lacerda

Lorena

2020

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Automatizado  
da Escola de Engenharia de Lorena,  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Ancilloti, Ítalo Ferreira

Comparação entre dispersões poliméricas para  
aplicação como componente backing em gramas  
sintéticas / Ítalo Ferreira Ancilloti; orientadora  
Talita Martins Lacerda. - Lorena, 2020.  
48 p.

Monografia apresentada como requisito parcial  
para a conclusão de Graduação do Curso de Engenharia  
Química - Escola de Engenharia de Lorena da  
Universidade de São Paulo. 2020

1. Gramados sintéticos. 2. Backing. 3. Dispersões  
poliméricas. 4. Látex. 5. Ancoragem. I. Título. II.  
Lacerda, Talita Martins, orient.

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho aos meus pais e meu irmão; fundamentais em toda minha história. Meus pais, Vera e Homero, ensinaram todos os valores nos quais me guio e, com seu suor, fizeram com que meu sonho pudesse ser realizado. Meu irmão, Rômulo, me aconselhou e me apoiou incondicionalmente em todos os momentos. Sem vocês nada disso seria possível. Amo vocês!

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar, agradeço às pessoas fundamentais em minha vida, meus pais, Vera e Homero. Vocês sustentaram todo o caminho que trilhei até aqui. Obrigado por todo apoio e carinho.

Agradeço ao meu irmão, Rômulo, outra pessoa essencial na minha vida. Obrigado por todos os conselhos, conversas e pelo apoio incondicional. Sem você nada disso seria possível.

Agradeço a minha companheira inseparável, Luciana, por trilhar esse caminho comigo. Obrigado pelo carinho, pelo estudo para as provas, pelas viagens e aventuras. Você fez tudo isso ficar mais fácil.

Obrigado aos meus irmãos da república Aruera, por me ajudarem a trilhar esse caminho de uma maneira mais divertida. Agradeço as lembranças que levarei pelo resto da minha vida, as risadas e o apoio.

Agradeço meus amigos, próximos e distantes, por sempre estarem ao meu lado. Este período não seria o mesmo sem vocês.

Obrigado a todos os docentes e funcionários da EEL, que de alguma forma colaboraram em minha graduação. Em especial à Professora Doutora Talita Martins Lacerda que me ajudou e orientou durante a elaboração deste trabalho.

Enfim, obrigado a todos os colegas de trabalho, pela amizade, ensinamentos e companheirismo durante o meu estágio. Um agradecimento especial ao Fábio Franco, por todo conhecimento e apoio durante todo o trabalho.

## RESUMO

Ancilloti, I.F. **Comparação entre dispersões poliméricas para aplicação como componente *backing* em gramas sintéticas**. 2020. 48p. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) – Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo.

Introduzido no mercado há mais de meio século, o gramado sintético está cada vez mais presente no dia-a-dia, seja em estádios de futebol, parques ou quadras amadoras. O Brasil é conhecido mundialmente com o país do futebol, sendo assim, há grande expectativa na evolução dos processos de fabricação de gramados sintéticos no país. Atualmente, pelo menos dois estádios com gramado artificial são usados para jogos da primeira divisão do campeonato brasileiro de futebol. O gramado sintético evoluiu desde sua introdução no mercado e hoje é produzido com os seguintes componentes: base, camada de absorção de choques, *backing*, preenchimento e fibras. O presente trabalho teve como foco avaliar diferentes dispersões poliméricas para a produção do *backing* da grama sintética. De maneira específica, diversos tipos de dispersões poliméricas compostas por copolímeros estireno/butadieno e estireno/acrílico. Para esta avaliação foram feitas análises físico-químicas de caracterização nas dispersões poliméricas, como determinação de pH, viscosidade, teor de não voláteis, Tg e dureza König. Também foram realizadas análises na formulação pronta para a aplicação, além disso, foram realizados testes para a medição da força de ancoragem das fibras na grama sintética, essas medições foram feitas em condição ambiente e após um processo de envelhecimento. Os resultados demonstram que, nas condições testadas, dispersões poliméricas compostas por monômeros estireno-butadieno mostraram-se mais adequadas para essa aplicação específica.

**Palavras-chave:** Gramados sintéticos; *Backing*; Dispersões poliméricas; Látex; Ancoragem.

## ABSTRACT

Ancilloti, I.F. **Comparison between polymeric dispersions for application as a backing component in synthetic grass.** 2020. 48p. Monograph (Graduation Work in Chemical Engineering) – Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo.

Introduced in the market more than half century ago, the synthetic turf is increasingly present in every day's life, in soccer stadiums, parks or amateur courts. Brazil is known worldwide as the country of soccer, so there is a great expectative in the evolution of the processes of synthetic turf manufacturing in the country. Nowadays, at least two stadiums with synthetic turf are used for first division matches of the Brazilian soccer championship. The artificial turf has evolved since its introduction in the market, and today is produced with the following components: base, shock absorbing pad, backing, infill and pile fibers. This monograph aimed to evaluate different combinations of polymeric dispersions and additives for synthetic turf backing production. Specifically, different types of polymeric dispersions composed of styrene/butadiene and styrene/acrylic copolymers were testes. Physico-chemical analyzes of the dispersions in order to assess the main properties of the polymers, such as pH determination, viscosity, non-volatile content, Tg and König hardness. Then, fiber anchoring tests were performed on synthetic turf after the application of the backing component, in both ambient and aged conditions. The results demonstrated that, under the conditions tested, polymeric dispersions composed of styrene-butadiene monomers were better for this specific application.

**Keywords:** Synthetic turf; Backing; Polymeric Dispersions; Latex; Anchorage.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Componentes do gramado sintético.....	13
<b>Figura 2</b> – Grama sintética com o componente <i>backing</i> . ....	14
<b>Figura 3</b> – Grama sintética com filamentos do tipo monofilamento. ....	15
<b>Figura 4</b> – Grama sintética com filamentos do tipo fibrilado. ....	15
<b>Figura 5</b> – Diagrama esquemático mostrando os componentes do meio reacional de uma polimerização em emulsão.....	20
<b>Figura 6</b> – Estrutura polimérica constituída parcialmente por estruturas amorfas e cristalinas. ....	23
<b>Figura 7</b> – Variação do volume específico com o aumento da temperatura mostrando as faixas de temperatura em que ocorrem as transições $T_g$ e $T_m$ .....	26
<b>Figura 8</b> – Durômetro de pêndulo König e Persoz modelo HA-5854.....	29
<b>Figura 9</b> – Grama sintética sem a aplicação do componente <i>backing</i> (à esquerda) e com aplicação do componente <i>backing</i> (à direita). ....	31
<b>Figura 10</b> – Dinamômetro Kratos. ....	32
<b>Figura 11</b> – Sistema para o teste de ancoragem.....	33
<b>Figura 12</b> – Resultados de força de ancoragem na condição ambiente.....	40
<b>Figura 13</b> – Comparativo aspecto visual do <i>backing</i> após o envelhecimento .....	41
<b>Figura 14</b> – Resultados de força de ancoragem na condição ambiente.....	42

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Propriedades gerais de dispersões poliméricas do tipo estireno-butadieno. ....	21
<b>Tabela 2</b> – Alguns monômeros utilizados na polimerização de dispersões S/A e valores de transição vítrea (Tg) dos homopolímeros correspondentes.....	21
<b>Tabela 3</b> – Resultados de pH das dispersões poliméricas. ....	35
<b>Tabela 4</b> – Teor de não voláteis das dispersões poliméricas. ....	36
<b>Tabela 5</b> – Viscosidade das dispersões poliméricas. ....	36
<b>Tabela 6</b> – Resultados de dureza das dispersões poliméricas. ....	37
<b>Tabela 7</b> – Resultados de Tg das dispersões poliméricas.....	38
<b>Tabela 8</b> – Viscosidade das formulações backing antes e depois da adição de espessante.....	39
<b>Tabela 9</b> – Comparativo força de ancoragem ambiente e envelhecido. ....	42

## **LISTA DE SIGLAS**

FIFA - *International Federation of Association Football.*

S/A - Estireno-Acrílico

S/B - Estireno-Butadieno

TNV - Teor de Não Voláteis.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
1.1 Contexto e justificativa .....	11
1.2 Objetivo geral.....	12
1.3 Objetivos específicos .....	12
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>13</b>
2.1 Componentes da grama sintética .....	13
2.1.1 Base .....	13
2.1.2 Camada de absorção de choques .....	13
2.1.3 Backing.....	14
2.1.4 Fibras.....	14
2.1.5 Preenchimento .....	16
2.2 Aditivos .....	16
2.2.1 Agentes dispersantes .....	16
2.2.2 Antioxidantes .....	16
2.2.3 Estabilizadores UV .....	17
2.2.4 Agentes de reticulação .....	17
2.3 Cargas minerais.....	18
2.4 Dispersões poliméricas.....	18
2.4.1 Polimerização em emulsão.....	19
2.4.2 Polímeros estireno-butadieno (S/B).....	20
2.4.3 Polímeros estireno-acrílicos (S/A) .....	21
2.4.4 Propriedades .....	22
2.5 Formulação para o componente <i>backing</i> .....	26
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>27</b>
3.1 Método de pesquisa.....	27
3.2 Materiais .....	27
3.3 Métodos experimentais.....	27
3.3.1 Caracterização das dispersões poliméricas .....	27

3.3.2	<i>Formulação de backing para grama sintética</i>	30
3.3.3	<i>Aplicação de formulação de backing em grama sintética</i>	30
3.3.4	<i>Testes de ancoragem em grama sintética</i>	31
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>35</b>
4.1	Dispersões Poliméricas	35
4.2	Formulação <i>backing</i>	38
4.3	Teste de Ancoragem	39
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>44</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>46</b>

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 Contexto e justificativa

O gramado sintético foi introduzido no mercado há mais de meio século e recentemente ganhou destaque como um fator importante no mundo esportivo, da perspectiva de desempenho dos atletas e também pela fácil manutenção (JASTIFER et al., 2019).

Atualmente é comum atletas profissionais e amadores competirem e praticarem esportes em gramados sintéticos. Por isso, há uma constante evolução no processo de fabricação de grama sintética. A última geração é composta de várias camadas, buscando reproduzir as propriedades e aparência do gramado natural (DONALD et al., 2019).

Devido à boa performance dos gramados artificiais para a prática de futebol, em fevereiro de 2004 a *International Federation of Association Football* (FIFA) permitiu que o gramado composto por grama sintética pudesse ser utilizado para a disputa de partidas internacionais, substituindo o gramado natural (ZHANG et al., 2019).

O crescimento do mercado de gramados sintéticos é demonstrado pelo fato de serem encontrados nos mais diversos locais, desde playgrounds, clubes, quadras amadoras de diversos esportes, e até mesmo em estádios de grandes ligas de futebol (SCHNEIDER et al., 2020). No Brasil pode-se citar o estádio Joaquim Américo Guimarães, comumente conhecido como Arena da Baixada, situado na cidade de Curitiba/PR, que comporta um público de aproximadamente 43 mil pessoas e, mais recentemente, o estádio Allianz Parque, situado na cidade de São Paulo. Estima-se que no ano de 2011 havia em torno de 6000 gramados sintéticos instalados na América do Norte, com a demanda de 1000 a 1500 novas instalações por ano (JASTIFER et al., 2019).

No presente trabalho, foram analisados diferentes tipos de dispersões poliméricas como componente *backing* de gramas sintéticas, levando em consideração o comportamento da força de ancoragem das fibras. É relevante mostrar a evolução e a importância desse mercado no contexto atual.

Considerando a diversidade de aplicações, o enfoque deste trabalho serão os gramados sintéticos para fins esportivos.

## **1.2 Objetivo geral**

Analisar os efeitos de diferentes dispersões poliméricas no componente *backing* de gramados sintéticos, considerando o comportamento de força de ancoragem das fibras à tela.

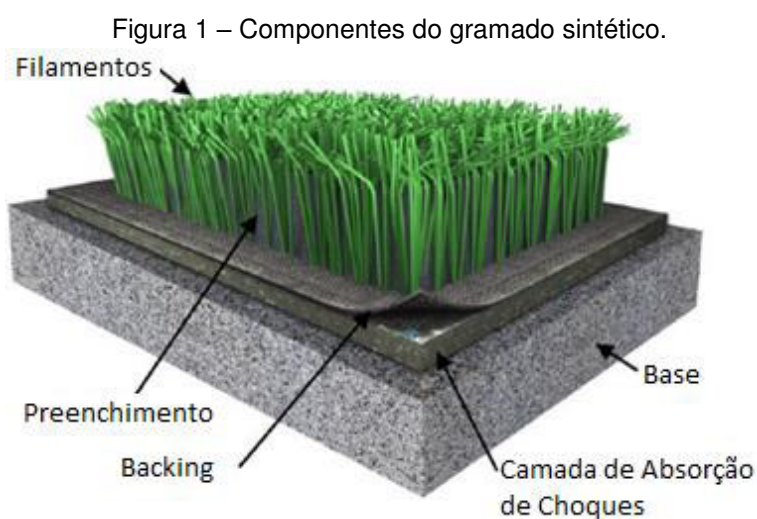
## **1.3 Objetivos específicos**

- Avaliar as propriedades físico-químicas de diferentes dispersões poliméricas;
- Realizar aplicações para a elaboração do componente *backing* em grama sintética;
- Analisar qualitativamente os resultados das aplicações, através de análises na força de ancoragem das fibras à tela da grama.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Componentes da grama sintética

O gramado sintético contém uma série de componentes, entre eles a base, a camada de absorção de choques, o *backing*, o preenchimento e os filamentos de grama (MASSEY et al., 2020) (Figura 1). Devido à necessidade de drenagem da superfície, todas as camadas que compõe o gramado são porosas.



FONTE: (JASTIFER et al., 2019)

#### 2.1.1 Base

A primeira camada é uma base estável. Sua composição depende das circunstâncias às quais a grama será submetida. Caso apenas forem esperados tráfego de veículos leves e eventos esportivos, a base composta por cascalho compactado é suficiente. Em situações em que a superfície é submetida ao tráfego de guindastes ou outros veículos de grande porte, uma base composta por asfalto poroso ou concreto capilar se faz necessária (JASTIFER et al., 2019).

#### 2.1.2 Camada de absorção de choques

A camada de absorção de choques é opcional na instalação do gramado sintético, e quando instalada se localiza acima da base. Trata-se de componente que possui a função de absorver os impactos criados pelos atletas durante práticas esportivas e, como consequência, há a diminuição do risco de lesões.

### 2.1.3 *Backing*

A camada fica localizada acima da camada de absorção de choque (quando instalada), e tem como propósito atuar como ligante das fibras à tela. Sem este componente as fibras se desprenderiam facilmente, e isto teria como consequência a rápida degradação do gramado.

Figura 2 – Grama sintética com o componente *backing*.



FONTE: ([www.forbex.com.br](http://www.forbex.com.br), acesso em 01/10/2019)

### 2.1.4 Fibras

Atualmente, as fibras utilizadas nos gramados sintéticos geralmente possuem uma altura de 40 a 70 mm. São compostas de polietileno, nylon ou polipropileno, sendo o polietileno o mais comumente empregado. As fibras podem ser encontradas em duas formas: as do tipo “fibrilada” são produzidas em folhas e são cortadas em tiras, com o intuito de criar lâminas semelhantes à grama natural, e então são torcidas e costuradas no suporte; as do tipo monofilamento possuem uma seção transversal mais simétrica em comparação às do tipo fibrilada, além disso, são costuradas individualmente e coladas no suporte (KELLER et al., 2020).

Quando aplicadas em campos de futebol, o tipo e o tamanho das fibras influenciam diretamente a resistência ao desgaste e a velocidade de rolamento da bola e, por isso, devem obedecer a padrões estabelecidos pela FIFA. As Figuras 3 e 4 ilustram as gramas sintéticas com filamentos dos tipos monofilamento e fibrilado respectivamente.

Figura 3 – Grama sintética com filamentos do tipo monofilamento.



FONTE: ([www.forbex.com.br](http://www.forbex.com.br), acessado em 01/10/2019).

Figura 4 – Grama sintética com filamentos do tipo fibrilado.



FONTE: ([www.forbex.com.br](http://www.forbex.com.br), acessado em 01/10/2019).

### **2.1.5 Preenchimento**

Os primeiros campos de grama sintética possuíam diversas discrepâncias em sua superfície, principalmente onde as costuras se uniam. Com isso, surgiu a preocupação com os atletas, que poderiam tropeçar nessas irregularidades e então sofrer com lesões.

A solução proposta para este problema foi a inserção do componente de preenchimento, o qual, consegue corrigir as irregularidades e também absorver choques. Estes materiais de preenchimento normalmente são instalados a uma profundidade de 25 a 40 mm e são compostos geralmente por borracha a base de pneus reciclados. A borracha é moída e dimensionada para grânulos de 2 a 3 mm.(PRONK; WOUTERSEN; HERREMANS, 2020)

## **2.2 Aditivos**

### **2.2.1 Agentes dispersantes**

Os agentes dispersantes atuam na estabilidade mecânica do látex e sua subsequente formulação, assim, facilita a adição de outras partículas, como cargas minerais, pigmentos, antioxidantes, entre outros (ROBERT D. ATHEY, 1991). A ação dos agentes dispersantes pode alterar as propriedades finais da formulação.

### **2.2.2 Antioxidantes**

Os antioxidantes são substâncias que, quando presentes em um sistema, retardam ou inibem o processo oxidativo. Estes compostos podem ser divididos em dois grupos principais:

- Antioxidantes primários: também são conhecidos como bloqueadores de cadeia, são os que interrompem o ciclo de propagação, reagindo com os radicais.
- Antioxidantes secundários: destroem os hidroperóxidos, um dos principais iniciadores de oxidação.

Os principais compostos que compõem os antioxidantes primários são as aminas e os fenóis, que possuem átomos de hidrogênio mais reativos com os radicais peróxi ou alcóxi do que os átomos de hidrogênio da cadeia polimérica. Os

fénois trazem como vantagem o fato de terem menor tendência a descoloração, porém, perdem eficiência a altas temperaturas. As aminas têm custo mais baixo e geralmente são usadas nos processos de fabricação de pneus de borracha (RABELLO, 2011).

A ação dos antioxidantes secundários é de grande importância para evitar processos oxidativos, já que os antioxidantes primários formam hidroperóxidos após sua ação e estes são instáveis e reiniciam as reações. Os principais tipos de antioxidantes secundários são os sulfitos e fosfitos (RABELLO, 2011).

### **2.2.3 Estabilizadores UV**

A energia da radiação ultravioleta está na ordem dos níveis de energia em que os elétrons estão se movendo em um composto químico. Ao absorver tal radiação, há a geração de radicais livres nas cadeias de polímero, que podem acarretar em degradação. Também é possível que as cadeias do polímero se rearranjem para formar ligações facilmente quebradas por hidrólise ou oxidação. Estas possibilidades reduzem o tempo de vida do material (ATHEY, 1991). Para minimizar este efeito, aditivos chamados de estabilizadores UV são usados, cuja habilidade de absorver a radiação UV é superior à dos polímeros.

### **2.2.4 Agentes de reticulação**

Os agentes de reticulação são adicionados em polímeros com o objetivo de conferir maior resistência química, melhores propriedades adesivas, maior estabilidade ao calor e menor fluidez (RABELLO, 2011).

Os agentes de reticulação são compostos majoritariamente por peróxidos orgânicos que são incorporados a massas poliméricas antes ou durante o processamento, e constituem uma fonte de radicais livres a partir de sua decomposição térmica. As moléculas decompostas dos peróxidos abstraem hidrogênio do polímero dando origem a ligações primárias entre as macromoléculas, resultando em um retículo tridimensional (RABELLO, 2011).

## 2.3 Cargas minerais

A princípio, as cargas minerais foram introduzidas às formulações que utilizavam dispersões poliméricas em diversas aplicações, com o intuito de diminuir os custos de produção, e não tinham função de reforço.

Com o tempo, a visão de que cargas minerais serviam apenas como enchimento ficou ultrapassada, como consequência do interesse pelo uso técnico destas cargas. Descobriu-se que com o uso de cargas corretas em concentrações apropriadas era possível alterar as propriedades dos polímeros de acordo com o interesse (RABELLO, 2011).

Segundo Rabello (2011), as cargas podem ser definidas como materiais sólidos, não-solúveis, que são adicionados aos polímeros em quantidades suficientes para diminuir os custos e/ou alterar suas propriedades físicas.

A adição de cargas minerais em dispersões poliméricas aumenta a viscosidade, o que dificulta o processamento. Além disso, geralmente diminuem a resistência ao impacto e à fadiga. Por outro lado, aumenta a estabilidade dimensional e diminui a retração no resfriamento ou na cura (RABELLO, 2011).

## 2.4 Dispersões poliméricas

As dispersões poliméricas (também conhecidas como látex) são compostas por partículas de polímeros dispersas em água. Na aplicação em gramados sintéticos, são usadas como meio para dispersão de cargas minerais, constituindo majoritariamente o componente *backing*. Sua principal função é a ligação dos filamentos de grama na base do carpete. Para esta aplicação, é importante que tenham boa resistência à água, já que muitos gramados sintéticos ficam expostos e são suscetíveis a chuva.

A princípio, o látex era obtido por meio do extrativismo vegetal da seringueira (*Havea brasiliensis*) como uma emulsão de borracha em água. No período entre a metade do século XIX até o início do século XX, o Brasil era considerado o maior produtor e exportador de borracha natural do mundo (CANEVAROLO JÚNIOR, 2010).

Porém, devido a dificuldades deste processo, os químicos da primeira metade do século XX passaram a buscar alternativas sintéticas ao látex natural. Hoje, as dispersões são sintetizadas pela técnica de polimerização em emulsão.

#### **2.4.1 Polimerização em emulsão**

Para o processo de polimerização em emulsão são utilizados monômeros, um iniciador hidrossolúvel (por exemplo, percompostos e azocompostos), um solvente (geralmente água) e um emulsificante (por exemplo, estearato de sódio). O conjunto formado por estas substâncias são o meio adequado para a formação de micelas (BIASOTTO MANO; MENDES, 1999).

A utilização de água como meio dispersante apresenta algumas vantagens como, por exemplo, solubilização de sais, condutividade térmica elevada, baixo custo e motivações ambientais (FRANCO, 2010).

Os monômeros utilizados neste tipo de polimerização geralmente são pouco solúveis em água e assim, quando misturados, ocorre a separação em duas fases, uma fase aquosa e outra orgânica. Quando há agitação, a fase orgânica é dispersa na fase aquosa, formando gotas de monômero (FRANCO, 2010).

Além dos componentes essenciais para a realização da polimerização em emulsão, também são utilizados outros produtos que são adicionados ao meio reacional, tais como reguladores de polimerização, ativadores, reguladores de tensão superficial, tamponadores de pH, etc (BIASOTTO MANO; MENDES, 1999).

As moléculas de emulsificante formam as micelas com as extremidades hidrofóbicas voltadas para o interior e as extremidades hidrofílicas para o exterior. Ao adicionar os monômeros, parte fica em forma de gotas, porém, parte irá penetrar nas micelas (região hidrofóbica). Após a adição do iniciador hidrossolúvel, a polimerização nas gotas de monômero é evitada, porém, irá ocorrer nas micelas (CANEVAROLO JÚNIOR, 2010).

Com a formação de polímeros nas micelas e a redução da concentração de monômero, haverá uma pressão osmótica forçando mais monômero a sair das gotas e migrar para as micelas, dando continuidade à reação (CANEVAROLO JÚNIOR, 2010).



Tabela 1 – Propriedades gerais de dispersões poliméricas do tipo estireno-butadieno.

<b>Propriedade</b>	<b>Valor</b>
Cor	Branco leitoso
Teor de sólidos	50 %
pH	7,0 – 9,0
Viscosidade Brookfield	<500 cp a 25°C
Tamanho de partícula médio	20,000
Tensão superficial	45 dinas/cm
Massa específica (a 25°C)	1,01

FONTE: (SATAS; TRACTON; RAFANELLI, 2002)

### 2.4.3 Polímeros estireno-acrílicos (S/A)

Os copolímeros estireno-acrílicos são geralmente compostos por monômeros de estireno e ésteres de ácido acrílico. Existem uma série de monômeros que podem ser usados para a fabricação deste tipo de emulsão, alguns deles e as respectivas temperaturas de transição vítrea ( $T_g$ ) de seus homopolímeros estão representados na Tabela 2 (PILZ, 2004).

Tabela 2 – Alguns monômeros utilizados na polimerização de dispersões S/A e valores de transição vítrea ( $T_g$ ) dos homopolímeros correspondentes.

<b>Monômero</b>	<b><math>T_g</math> do homopolímero (°C)</b>
Acrilato de metila	6 °C
Acrilato de etila	-26 °C
Acrilato de n-butila	-53 °C
Acrilato de t-butila	55 °C
Acrilato de 2-etil hexila	60 °C
Metacrilato de metila	105 °C
Metacrilato de butila	40 °C
Estireno	100 °C

FONTE: (PILZ, 2004) adaptado.

A  $T_g$  do polímero S/A sofre influência direta da composição monomérica. Por exemplo, de acordo com a Figura 6, a  $T_g$  do homopolímero de estireno é 100 °C e do acrilato de t-butila 55 °C, então o copolímero formado por estes dois monômeros terá  $T_g$  entre 55 e 100 °C, variando de acordo com a proporção relativa de monômeros (PILZ, 2004).

#### 2.4.4 Propriedades

- pH

O pH das dispersões poliméricas afetam suas propriedades nos seguintes aspectos: viscosidade, estabilidade mecânica e estabilidade coloidal. A carboxilação é outro parâmetro importante e é medida com o método de titulação potenciométrica.

Durante a reação de polimerização é importante que o pH esteja baixo, para que a maior parte dos ácidos de vinila seja ligada às partículas. A carboxilação é desejável às dispersões poliméricas, por isso, os látex estireno/butadieno são produzidos e vendidos em pH baixo. Porém, é possível a realização de ajustes de pH após a polimerização para que suas propriedades se adequem as aplicações que irão desempenhar.

- Teor de Não-Voláteis

É a quantidade de material sólido presente na dispersão, ou seja, é a quantidade de polímero de fato. Essa propriedade também pode ser chamada de teor de sólidos. Em geral, as dispersões poliméricas são comercializadas na faixa de 50% de teor de não-voláteis. O componente *backing* utilizado em gramas sintéticas é formulado com teor de sólidos na faixa de 74%.

- Viscosidade

A viscosidade das dispersões poliméricas varia de acordo com o tipo de aplicação e com o processo utilizado, incluindo o tipo de maquinário. Essa propriedade pode ser ajustada com o uso de produtos químicos conhecidos comumente como espessantes, que aumentam a viscosidade da formulação. A formulação utilizada no componente *backing* é ajustada para valores próximos de 12.000 mPa.s.

- Dureza König

A Dureza König é uma propriedade do polímero que tem influência do comportamento visco elástico do material e é determinada medindo o tempo de amortecimento de um pêndulo oscilante. O pêndulo repousa com duas esferas de aço na superfície do filme polimérico, que é formado quando a água presente na

dispersão polimérica evapora, sob temperatura suficientemente alta (WINNIK, 1997). Se o material tiver um comportamento elástico haverá um amortecimento, o que diminui o número de oscilações do pêndulo. Caso o comportamento do material seja rígido, o amortecimento será menor, o que ocasionará em um maior número de oscilações (DRAKE et al., 2019).

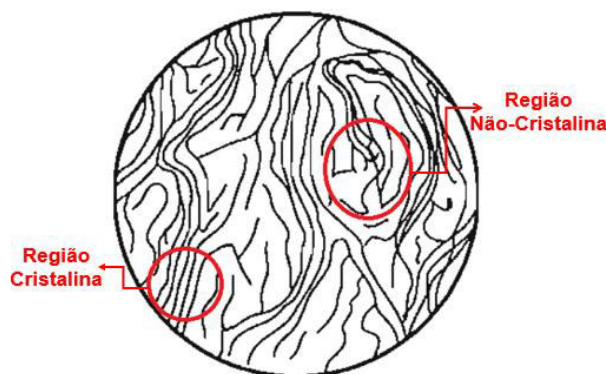
- Temperatura de Transição Vítrea ( $T_g$ )

A  $T_g$  é uma das propriedades mais importantes dos materiais poliméricos, pois define o comportamento mecânico do polímero em determinada temperatura, afetando assim flexibilidade/rigidez do *backing* da grama sintética (AL-SAAD; HUSSEIN; ALEABI, 2020).

Existe uma grande quantidade de características que diferenciam os polímeros e influenciam a  $T_g$ . Uma característica importante neste sentido é a estrutura molecular do polímero e seu índice de cristalinidade (CANEVAROLO JÚNIOR, 2010).

Os polímeros podem existir em estado semicristalino e não-cristalino, sendo o primeiro caso mais frequente. A estrutura não-cristalina é constituída por uma disposição desordenada e aleatória das moléculas, enquanto na estrutura cristalina, há uma ordenação tridimensional. A razão entre as porções cristalinas e não-cristalinas em uma dada amostra de polímero geralmente é medida em porcentagem (BIASOTTO MANO; MENDES, 1999).

Figura 6 – Estrutura polimérica constituída parcialmente por estruturas amorfas e cristalinas.



FONTE: (BIASOTTO MANO; MENDES, 1999) adaptado.

A temperatura de transição vítrea ( $T_g$ ) é o valor médio da faixa de temperatura que, durante o aquecimento de um polímero, partindo de uma

temperatura muito baixa e alcançando temperaturas mais altas, permite que as cadeias poliméricas da porção não-cristalina adquiram mobilidade e, conseqüentemente, possibilidade de mudança de conformação (CANEVAROLO JÚNIOR, 2010).

Abaixo da  $T_g$  o polímero está no chamado estado vítreo, que leva esse nome pois é caracterizado por ser rígido e quebradiço como um vidro (“*glass*”, em inglês), por isso o g na sigla  $T_g$ . Nesta condição, as cadeias de polímero na fase não-cristalina não possuem energia térmica para que se desloquem uma em relação à outra por mudança conformacionais (CANEVAROLO JÚNIOR, 2010).

Existem outros dois pontos correlacionados à  $T_g$  que influenciam polímeros semicristalinos e merecem destaque, são eles: Temperatura de Fusão Cristalina ( $T_m$ ) e Temperatura de Cristalização ( $T_c$ ).

- Temperatura de Fusão Cristalina ( $T_m$ )

A temperatura de fusão cristalina é o valor médio da faixa de temperatura, com aquecimento, na qual, desaparecem as regiões cristalinas do polímero em função da fusão dos cristalitos (assim como o “g” de  $T_g$ , o “m” de  $T_m$  vem do inglês “*melt*”) (CANEVAROLO JÚNIOR, 2010).

Nessa faixa de temperatura, o sistema atinge níveis de energia capazes de superar as forças intermoleculares secundárias entre as cadeias da fase cristalina, desfazendo a estrutura de empacotamento e ocasionando mudança do estado borrachoso para o estado fundido. Como essa transição ocorre apenas na fase cristalina, só se aplica para polímeros semicristalinos (CANEVAROLO JÚNIOR, 2010).

- Temperatura de cristalização ( $T_c$ )

Ao submeter um polímero semicristalino a um resfriamento partindo de uma temperatura acima da  $T_m$  (estado fundido), em dado momento, ele atingirá uma temperatura baixa o suficiente em que ocorra a organização espacial de um grande número de cadeias poliméricas em formato regular, ocorrendo assim a formação de cristalitos (CANEVAROLO JÚNIOR, 2010).

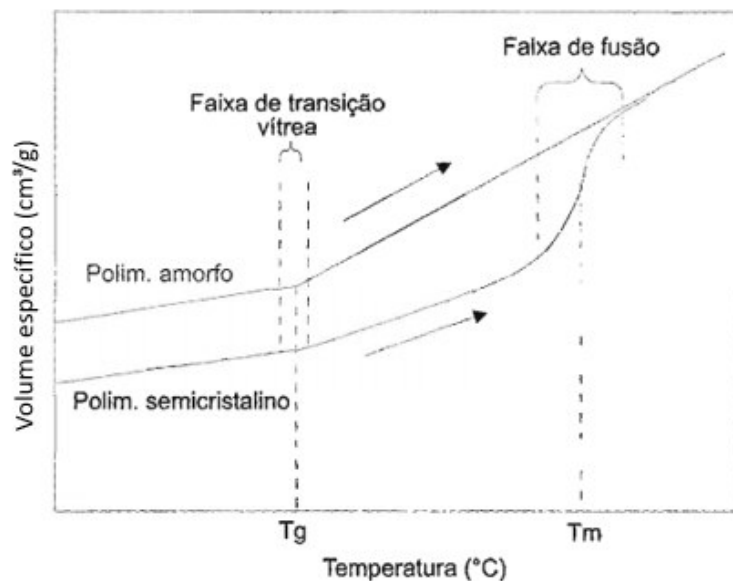
- Determinação de  $T_g$  e  $T_m$

Apesar da influência que a natureza química dos monômeros exerce nos valores de  $T_g$  e  $T_m$  dos polímeros, prevê-los somente com base na composição monomérica é um desafio, e métodos experimentais são constantemente reportados na literatura nesse sentido (XIE et al., 2020).

Para a determinação experimental de  $T_g$  e  $T_m$ , acompanha-se a variação do volume específico, que se trata de propriedade que mede o volume total ocupado pelas cadeias poliméricas. Ao aumentar a temperatura ocorrerá um aumento de volume graças a expansão térmica. É esperado que com o aumento de temperatura ocorra um aumento linear de volume, a não ser que se tenha uma modificação de mobilidade do sistema (CANEVAROLO JÚNIOR, 2010).

A Figura 7 apresenta os dois comportamentos típicos para polímeros não-cristalinos e semicristalinos. Iniciando o aquecimento em baixas temperaturas e a taxa constante, observa-se uma expansão térmica linear. Acima da  $T_g$ , há um aumento na mobilidade das cadeias, a taxa expansão térmica também aumenta e, conseqüentemente, há um aumento na inclinação da curva. Na Figura 7, observa-se a faixa em que há uma inflexão no comportamento linear. Ao atingir temperaturas mais elevadas, no caso de polímeros semicristalinos haverá a fusão dos cristalitos, que provoca um aumento localizado e instantâneo de volume. Como existem cristais dos mais diversos tamanhos, existe uma faixa de temperatura em que todos os cristais irão fundir, acarretando em um aumento gradual de volume. Após a fusão de todos os cristalitos, haverá uma expansão térmica linear com taxa mais desenvolvida, em função da maior mobilidade das cadeias (CANEVAROLO JÚNIOR, 2010).

Figura 7 – Variação do volume específico com o aumento da temperatura mostrando as faixas de temperatura em que ocorrem as transições  $T_g$  e  $T_m$



FONTE: (CANEVAROLO JÚNIOR, 2010)

## 2.5 Formulação para o componente *backing*

O componente *backing* é composta majoritariamente pela dispersão polimérica e carbonato de cálcio (49,5% cada), também é utilizado cerca de 1% de pigmento preto. É adicionado espessante até que a formulação alcance a viscosidade pré-fixada de 12000 mPa.s.

As indústrias que atuam no segmento de gramas sintéticas trabalham com essa composição básica, alterando a quantidade de componentes de acordo com a aplicação pretendida.

### **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **3.1 Método de pesquisa**

A classificação do método de pesquisa inicia-se com a definição da natureza da pesquisa, que pode ser básica (pura) ou aplicada. A partir disto, define-se a qual abordagem será feita, quantitativa ou qualitativa. Então, são definidos os objetivos, que podem ser: exploratórios, descritivos ou explanatórios. Por fim, é proposto o método de pesquisa a ser adotados, podendo ser: pesquisa experimental, *survey* (levantamento), estudo de caso, pesquisa-ação, pesquisa bibliográfica, etc (GIL, 2002).

Para essa monografia desenvolveu-se pesquisa de natureza aplicada, com abordagem quantitativa. Os objetivos foram expressos de forma descritiva e com método experimental.

#### **3.2 Materiais**

O desenvolvimento deste trabalho foi focado em dispersões poliméricas sintetizadas através da técnica de polimerização em emulsão a base de estireno-butadieno (S/B) e estireno-acrílicas (S/A). Com o intuito de facilitar a visualização e comparação dos resultados, as dispersões foram separadas em dois grupos, Grupo I e Grupo II, sendo referente às dispersões S/B e S/A respectivamente. O Grupo I foi composto pelas dispersões A, B, C e D e o Grupo II foi composto pelas dispersões E e F. A diferenciação de cada dispersão dentro do grupo se deu em função da diferença de propriedades. Por motivos de confidencialidade, a composição detalhada de cada dispersão foi omitida.

De acordo com a etapa do trabalho, cada dispersão foi utilizada para uma formulação de *backing* e cada formulação foi aplicada sobre o dorso da grama sintética individualmente.

#### **3.3 Métodos experimentais**

##### **3.3.1 Caracterização das dispersões poliméricas**

As dispersões poliméricas utilizadas foram caracterizadas pelas técnicas apresentadas abaixo.

- Viscosidade

As viscosidades das dispersões poliméricas utilizadas neste trabalho foram medidas de acordo com a norma NBR 9277 de 03/2014, utilizando um viscosímetro Brookfield, modelo RVT à 25 °C, com fuso de 5 a 20 rpm. Apesar de cada dispersão polimérica possuir uma rotação e um fuso específicos de acordo com suas especificações técnicas, neste trabalho um padrão será adotado para fins de comparação.

- Teor de Não-Voláteis

Os teores de não voláteis foram determinados de acordo com a norma NBR 15315 de 12/2005, com o auxílio de uma estufa. 1,5 g de cada dispersão foram pesados e mantidos em estufa a uma temperatura de 140 °C por um período de 30 minutos. O teor de não-voláteis foi dado em porcentagem e consiste basicamente na diferença de massa da dispersão antes e após o período em estufa (Equação 1).

$$\text{Teor de Não Voláteis (\%)} = \frac{(m_2 - m_0)}{(m_1 - m_0)} \times 100 \quad (1)$$

$m_0$  = massa do recipiente vazio, em gramas;

$m_1$  = massa do recipiente com amostra antes da secagem, em gramas;

$m_2$  = massa do recipiente com amostra depois da secagem, em gramas.

- pH

Os valores de pH das dispersões poliméricas foram medidos de acordo com a norma NBR 7353 de 11/2004, com o auxílio de um pHmetro (modelo *Metrohm 780*). Não há especificação de pH para as dispersões para a aplicação em grama sintética, e as medições foram feitas para fins de comparação.

- Análise de Dureza

O teste de dureza foi conduzido de acordo com as normas ASTM DIN 4366 e DIN EN ISO 1522.

Inicialmente, 75 g de cada uma das dispersões foram pesados e levados para uma centrífuga, onde ficaram por um período 10 minutos a uma rotação de 2000 rpm para homogeneização.

Com o auxílio de um extensor de 300  $\mu\text{m}$ , um filme foi puxado em velocidade constante e posição longitudinal em placa de vidro. As placas de vidro foram levadas para uma estufa a uma temperatura de 140  $^{\circ}\text{C}$ , onde ficaram por um período de 15 minutos.

Após este período em estufa, as placas de vidro foram levadas a uma sala climatizada (23  $^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ , 50% UR) por um período de 30 minutos para o resfriamento dos filmes.

A análise de dureza foi realizada com o auxílio de um durômetro de pêndulo König e Persoz modelo HA-5854. A ruptura do filme foi avaliada em três pontos distintos da placa de vidro com o auxílio do pêndulo eletrônico, atentando-se para que o pêndulo não ficasse posicionado sobre nenhum tipo de imperfeição do filme. O valor mostrado no display do equipamento foi lido e registrado.

A Figura 8 ilustra o equipamento usado para o teste de dureza.

Figura 8 – Durômetro de pêndulo König e Persoz modelo HA-5854.



FONTE: ([www.gardco.com](http://www.gardco.com), acessado em 01/10/2019).

- Determinação da Tg

A determinação da Tg foi executada de acordo com a norma NBR ISO 22768 de 07/2011.

A análise de Tg foi realizada com o auxílio do equipamento *DSC Tester* utilizando o método de calorimetria exploratória, que tem como princípio a detecção de variação do volume específico da dispersão polimérica em função de uma rampa de temperatura.

### 3.3.2 Formulação de *backing* para grama sintética

Com o intuito de avaliar os efeitos de diferentes dispersões poliméricas na formulação utilizada na fabricação do componente *backing* de gramas sintéticas, a caracterização físico-química de cada uma das formulações foi conduzida. Para isso, foi determinado o valor de viscosidade conforme descrito no item 3.2.1.

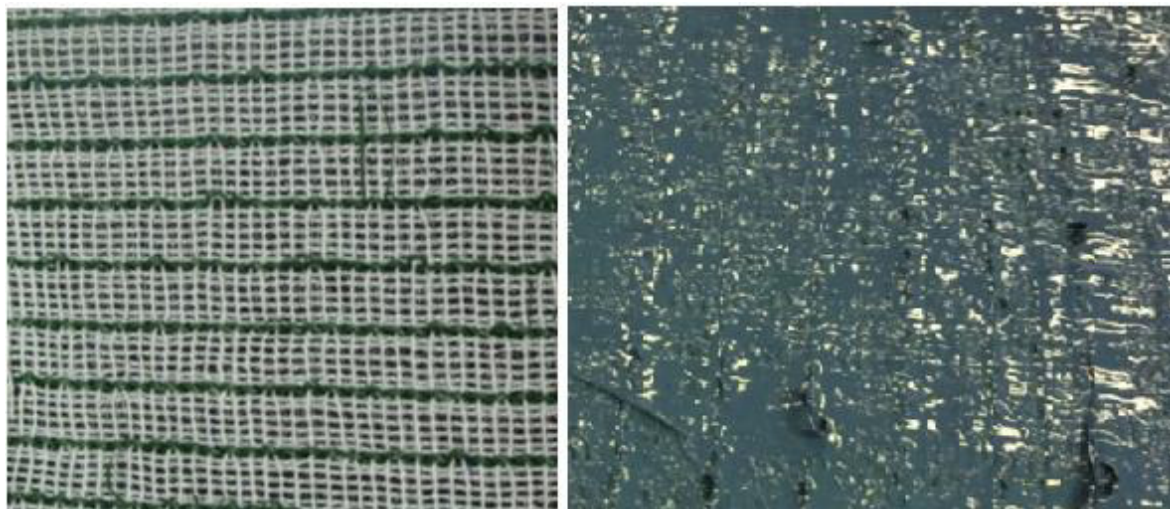
### 3.3.3 Aplicação de formulação de *backing* em grama sintética

Inicialmente os corpos de prova foram cortados a partir de grama sintética do tipo monofilamento. Com o auxílio de uma espátula, a fórmula foi espalhada no dorso da grama até que se atingisse uma gramatura de 900 g/m<sup>2</sup> de formulação seca. Em seguida, com o auxílio de uma espátula de borracha, a fórmula foi nivelada.

Após o processo de impregnação, a grama foi levada a uma secadora com circulação ajustada a uma temperatura de 90 °C por um período de 10 minutos.

Após a impregnação e secagem, os corpos de prova foram colocados em uma sala climatizada (23 °C ± 2 °C e 50 % ± 5 % UR) por um período de 48 h. Este período foi de grande importância para a padronização e a secagem total da formulação.

Figura 9 – Grama sintética sem a aplicação do componente *backing* (à esquerda) e com aplicação do componente *backing* (à direita).



FONTE: Próprio Autor.

#### 3.3.4 Testes de ancoragem em grama sintética

O teste de ancoragem tem como finalidade determinar a força necessária para o arrancamento de filamentos de grama sintética. Assim é possível determinar a eficiência de cada uma das dispersões poliméricas dentro da formulação de *backing* em evitar a degradação do campo. A medição da força de ancoragem foi executada com o auxílio de um dinamômetro da marca Kratos.

Figura 10 – Dinamômetro Kratos.



FONTE: ([www.kratos.com.br](http://www.kratos.com.br), acessado em 14/05/2020).

O teste de ancoragem foi executado em duas condições: ambiente e envelhecido.

- Teste de Ancoragem Ambiente

O teste de ancoragem ambiente foi executado 48 h após a impregnação e secagem dos corpos de prova. Foram escolhidos cinco pontos em cada corpo de prova, nestes pontos, quatro filamentos de grama foram amarrados utilizando fita adesiva. Com o auxílio de cintas flexíveis, os filamentos de grama anteriormente amarrados foram presos.

O corpo de prova foi preso em uma base metálica com o auxílio de grampos, a qual será encaixada na base fixa inferior do dinamômetro. A cinta flexível foi fixada na célula de carga do dinamômetro. A Figura 11 ilustra o sistema de teste utilizado.

Figura 11 – Sistema para o teste de ancoragem.



FONTE: Próprio Autor.

O teste foi realizado até o desprendimento dos filamentos de grama, e o valor de força máxima foi registrado. Os cinco pontos selecionados em cada corpo de prova foram submetidos ao teste de ancoragem e, ao final, foi feita a média aritmética dos valores de força máxima.

- Teste de Ancoragem Envelhecido

O teste de ancoragem envelhecido tem como objetivo determinar a força de ancoragem dos filamentos de grama após a simulação de aceleração do envelhecimento dos corpos de prova através da imersão em água quente. O envelhecimento dos corpos de prova segue a norma EM 13744 de Outubro de 2004.

Para a simulação do envelhecimento, os corpos de prova foram completamente imersos em água a uma temperatura de  $(70 \pm 2) ^\circ\text{C}$  por um período de  $(336 \pm 2)$  h.

Ao final do período de imersão em água, os corpos de prova foram submetidos ao mesmo procedimento do teste de ancoragem a seco.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Dispersões Poliméricas

- pH

O pH do látex tem influência em uma série de outras propriedades da própria dispersão polimérica ou da formulação *backing*, como por exemplo: viscosidade, estabilidade coloidal e estabilidade mecânica. Com o auxílio de testes e de acordo com a necessidade do processo, são definidas as faixas de pH para cada uma das dispersões poliméricas. Em certos casos, pode haver interação entre o ligante e outros componentes da formulação *backing* (carga mineral, por exemplo), isso pode resultar em mudança nas propriedades esperadas e, como ação corretiva, o pH da dispersão é ajustado. Os resultados de pH foram descritos na Tabela 3.

Tabela 3 – Resultados de pH das dispersões poliméricas.

	Grupo I (S/B)				Grupo II (S/A)	
	Dispersão A	Dispersão B	Dispersão C	Dispersão D	Dispersão E	Dispersão F
pH	6,5	7,8	7,64	8,9	6,5	7,7

FONTE: Próprio Autor.

Os trabalhos conduzidos por JO, 2020 e LIU et al., 2020, que atuaram nos seguimentos de cimento e concreto, respectivamente, utilizaram dispersões compostas por copolímeros a base de estireno-butadieno com pH acima de 9,0, a diferença em relação às dispersões utilizadas no presente trabalho, se justifica pela diferença de seguimentos. Dispersões compostas por copolímeros a base de estireno-acrílico também foram usadas por JO, 2020 e apresentavam pH igual a 7,5.

- Teor de Não-Voláteis

O teor de não-voláteis pode influenciar na mesma propriedade na formulação *backing*. Em geral, as dispersões poliméricas são ajustadas para que no fim tenham uma faixa de especificação de 49 – 51%, e isto pode ser observado em todas as dispersões poliméricas. Os resultados de Teor de Não-Voláteis estão apresentados no Tabela 4.

Tabela 4 – Teor de não voláteis das dispersões poliméricas.

	Grupo I (S/B)				Grupo II (S/A)	
	Dispersão A	Dispersão B	Dispersão C	Dispersão D	Dispersão E	Dispersão F
TNV (%)	50,0	50,4	51,9	50,3	49,7	49,8

FONTE: Próprio Autor.

As dispersões também podem ser ajustadas para valores inferiores ou superiores à faixa de especificação apresentada, como é o caso das dispersões utilizadas por LIU et al., 2020, que apresentaram TNV de 46%. A faixa varia de acordo com o interesse do fabricante.

- Viscosidade

A viscosidade ideal de uma dispersão polimérica varia de acordo com a necessidade de aplicação ou processo que será utilizada. Assim como em outras propriedades, a faixa de especificação é pré-determinada de acordo com resultados prévios satisfatórios, e é particular de cada dispersão e processo. Essa propriedade pode ser ajustada com o uso de espessantes, que ao ser adicionado, eleva a viscosidade. Geralmente esse ajuste é feito na formulação final do cliente, já que, ao adicionar outros componentes da formulação há a mudança de viscosidade. Os resultados de Viscosidade estão apresentados no Tabela 5.

Tabela 5 – Viscosidade das dispersões poliméricas.

	Grupo I (S/B)				Grupo II (S/A)	
	Dispersão A	Dispersão B	Dispersão C	Dispersão D	Dispersão E	Dispersão F
Viscosidade (mPa.s)	216	192	236	192	2800	6400

FONTE: Próprio Autor.

A Tabela 5 indica que as dispersões do grupo II apresentam resultados de viscosidade superiores aos valores do grupo I, isso se justifica pelo maior tamanho de partícula das dispersões pertencentes ao grupo II.

O trabalho realizado por JO, 2020 utilizou dispersões compostas por copolímeros de estireno-acrílico com uma viscosidade de 100 mPa.s, um valor abaixo dos apresentados por dispersões com esta composição monomérica no presente trabalho. Essa diferença pode ser explicada pela diferença em relação ao TNV das dispersões, no presente trabalho utilizou-se dispersões com TNV igual 50%, enquanto que a dispersão utilizada por JO, 2020 tinha TNV igual a 47%, como

esta diferença de TNV consiste em adição de água, a viscosidade tende a ser menor em dispersões com menores valores de TNV.

- Dureza König

A dureza König é uma propriedade influenciada pelo comportamento visco-elástico do material. Essa propriedade é de suma importância no presente trabalho, já que define a rigidez ocasionada pelo componente *backing*. Materiais rígidos tendem a formar uma estrutura mais sólida, porém, são mais quebradiços; materiais flexíveis tendem a ser mais resistentes, porém, não formam uma estrutura suficientemente sólida. Os resultados de Dureza König estão apresentados no Tabela 6.

Tabela 6 – Resultados de dureza das dispersões poliméricas.

	Grupo I (S/B)				Grupo II (S/A)	
	Dispersão A	Dispersão B	Dispersão C	Dispersão D	Dispersão E	Dispersão F
Dureza König (Ciclos)	2	2	6	4	15	0

FONTE: Próprio Autor.

Os resultados expostos na Tabela 6 nos indicam que a dispersão E foi a que apresentou o comportamento mais rígido, pois foi a que obteve o maior número de ciclos, já a dispersão F, foi a que apresentou o comportamento mais flexível, pois não completou nenhum ciclo. A partir disso, é possível afirmar que não é possível fazer uma distinção entre flexível ou rígido somente pelo fato da dispersão pertencer ao grupo I ou grupo II.

- Tg

A determinação da Tg é fundamental para o entendimento do comportamento do material. Sabe-se que o material apresenta comportamento rígido e quebradiço em temperaturas abaixo do valor de Tg e um comportamento mais flexível quando a temperatura supera a Tg. Para esta aplicação, é interessante que o *backing* possua um comportamento flexível, pois a grama estará constantemente sujeita a choques mecânicos, frutos da atividade esportiva.

O Tabela 7 apresenta os resultados de Tg de cada uma das dispersões escolhidas para este trabalho. Os valores de Tg variaram entre -12 °C a 15 °C, essa

variação é interessante para que possamos avaliar a influência da Tg na aplicação final. Essa faixa de Tg está abaixo do valor de temperatura média de nosso país, sendo a Tg da dispersão E um valor limite. Assim, é esperado um comportamento flexível do *backing* elaborado com cada uma das dispersões.

Tabela 7 – Resultados de Tg das dispersões poliméricas.

	Grupo I (S/B)				Grupo II (S/A)	
	Dispersão A	Dispersão B	Dispersão C	Dispersão D	Dispersão E	Dispersão F
Tg (°C)	-12,0	-7,0	5,0	3,0	15,0	-1,0

FONTE: Próprio Autor.

Como dito na seção 2.4.2 e 2.4.3, a composição monomérica influencia no valor de Tg do copolímero, por exemplo, em um copolímero S/B, os monômeros de estireno possuem alto valor de Tg (100°C), apresentando comportamento rígido, enquanto que os monômeros de butadieno apresentam um baixo valor de Tg e comportamento flexível.

O trabalho conduzido por KIM et al., 2014 utilizou uma dispersão composta por copolímeros a base de S/B, com uma relação de peso de 60% butadieno e 40% estireno, que apresentou uma Tg de -28°C. Assim, as dispersões a base de S/B utilizadas no presente trabalho possuem um valor mais alto de estireno, em relação à apresentada no trabalho de KIM et al., 2014, pois possuem um valor mais alto de Tg.

## 4.2 Formulação *backing*

- Viscosidade

A viscosidade é a propriedade que mais sofre influência da interação entre os componentes da formulação. Esta propriedade foi pré-definida antes da formulação para uma faixa de 11000 - 13000 mPa.s, de acordo com a necessidade do processo. A formulação não pode apresentar uma viscosidade inferior a esse valor, pois pode ocorrer a passagem para a frente da grama, e também não pode ter um valor de viscosidade superior devido à dificuldade de manipulação. Geralmente a mistura da dispersão polimérica e carbonato de cálcio não alcançam esta viscosidade, por isso, posteriormente é feito o ajuste de viscosidade com espessante. Os resultados de viscosidade, antes e depois da adição de espessante, estão descritos na Tabela 8.

Tabela 8 – Viscosidade das formulações backing antes e depois da adição de espessante.

Viscosidade (mPa.s)	Grupo I (S/B)				Grupo II (S/A)	
	Fórmula A	Fórmula B	Fórmula C	Fórmula D	Fórmula E	Fórmula F
Sem espessante	1100	17000	1400	1000	4000	6900
Com espessante	12600	-	12500	11800	12000	12800

FONTE: Próprio Autor.

Durante o preparo da formulação B foi notada incompatibilidade entre a dispersão polimérica e o carbonato de cálcio, ocorrendo a formação de “grumos” e um aumento da viscosidade da formulação. O Tabela 8 nos mostra que a viscosidade da fórmula B alcançou o valor de 17000 mPa.s, superando assim a meta de 12000 mPa.s. Partindo de um histórico, a dispersão B foi desenvolvida originalmente para aplicações em sistemas impermeabilizantes, por isso, leva pouco tensoativo em sua formulação e isso pode ter criado a incompatibilidade quando misturado com carbonato de cálcio.

#### 4.3 Teste de Ancoragem

As quatro formulações foram aplicadas na grama sintética conforme descrito na seção 3.2.3.

O teste de ancoragem avalia a força necessária para o arrancamento de um determinado número de filamentos de grama provenientes do mesmo “nó”. O resultado desse teste é fundamental para uma previsão da durabilidade da grama sintética. Uma grama com baixa força de ancoragem perderia todos os seus filamentos com poucas horas de uso.

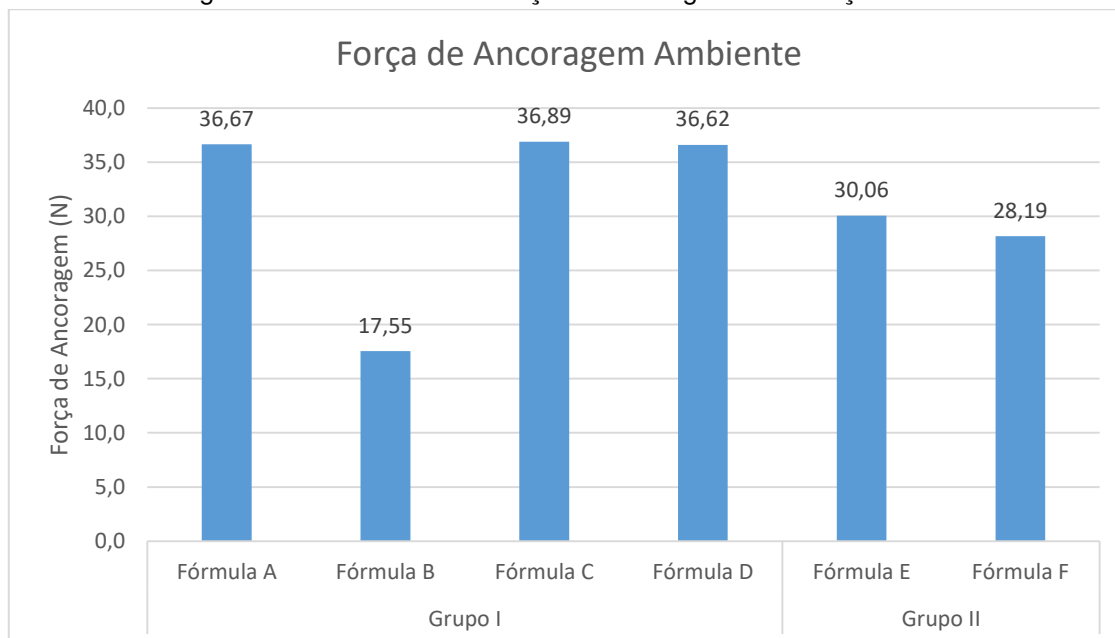
Cada fabricante de grama sintética possui sua própria grama com filamentos diferentes, assim, a avaliação da força de ancoragem se dá de forma comparativa, utilizando o mesmo substrato para todos os testes.

- Ambiente

O teste de ancoragem em condição ambiente foi feito 48 h após a aplicação do *backing*. Este teste tem como objetivo verificar a força necessária para o arrancamento de quatro filamentos de grama oriundos do mesmo ponto. A ancoragem dos filamentos de grama é de suma importância para a manutenção

dos gramados sintéticos, pois é um dos principais fatores para sua durabilidade. A Figura 12 apresenta os resultados de força de ancoragem das quatro fórmulas.

Figura 12 – Resultados de força de ancoragem na condição ambiente.



FONTE: Próprio Autor.

De acordo com o gráfico ilustrado na Figura 13, as formulações A, C e D foram as que apresentaram melhores resultados, sendo todas provenientes do grupo I de composição estireno-butadieno. Apesar da diferença de propriedades como Tg e dureza entre as dispersões, não houve diferença significativa nos valores de força de ancoragem.


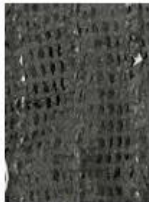




As formulações E e F compostas por monômeros estireno-acrílicos (grupo II) apresentaram desempenho parecido entre si e apresentaram uma força de ancoragem cerca de 20% menor do que as formulações A, C e D, o que nos indica que a composição monomérica da dispersão tem influência sobre a força de ancoragem do *backing*.

A formulação B apresentou o pior desempenho entre as formulações testadas, apesar de pertencer de ser composta por monômeros estireno-butadieno, assim como as formulações A, C e D, é provável que a incompatibilidade entre a dispersão B e o carbonato de cálcio, citada na seção 4.2, tenha interferido negativamente na formação do *backing* comprometendo a ancoragem das fibras de grama.

- Envelhecido

Para a realização do teste de ancoragem envelhecido, os corpos de prova foram submetidos previamente a uma severa intempérie, com o intuito de simular o envelhecimento do material. Este teste é feito pois o material deve manter a maior parte de suas características originais, apesar do envelhecimento. A Figura 13 apresenta o aspecto visual de cada um dos corpos de prova após o processo de envelhecimento.

Figura 13 – Comparativo aspecto visual do backing após o envelhecimento

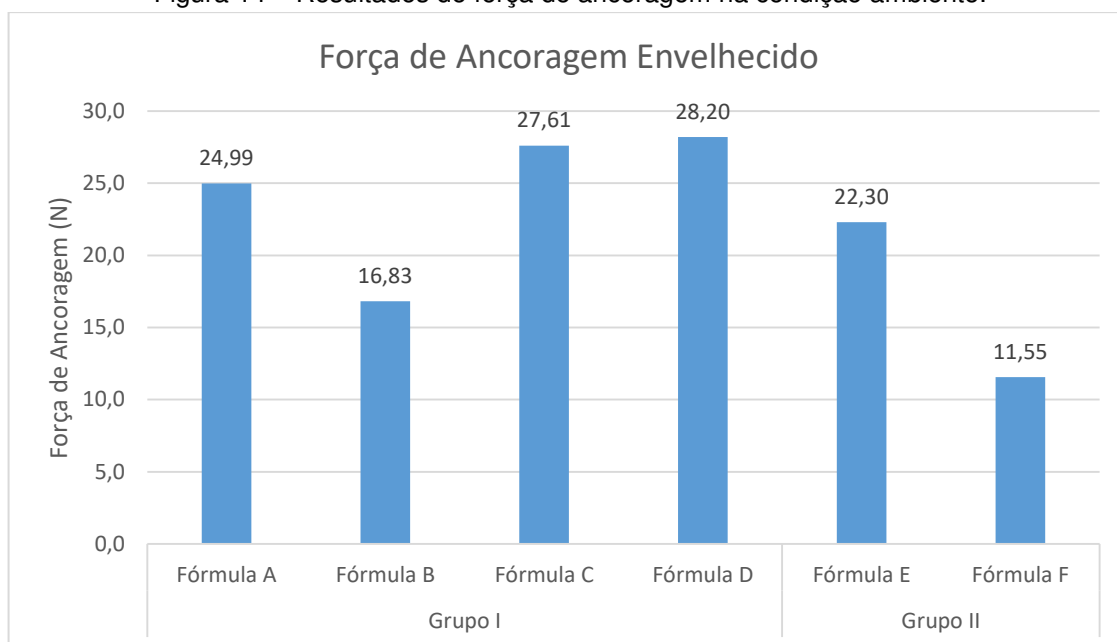
	Grupo I (S/B)				Grupo II (S/A)	
	Fórmula A	Fórmula B	Fórmula C	Fórmula D	Fórmula E	Fórmula F
Após 14 dias imerso em água a 70 °C						
Aspecto Visual	Ruim	Bom	Ruim	Bom	Bom	Bom

FONTE: Próprio Autor.

A Figura 13, sugere que o *backing* composto pela Fórmula A e C foram os que apresentaram maior deterioração após o processo de envelhecimento, o que é indicado pelo esbranquiçamento da formulação e pelo aspecto quebradiço. As Fórmulas B, D, E e F mantiveram grande parte de suas características, permanecendo com aspecto bem parecido entre si e em relação ao original. Essa perda de propriedades é consequência da oxidação do polímero causada pela temperatura alta, e a adição de antioxidante na formulação poderia atenuar esse problema e assim, manter as características do *backing* após esse processo de envelhecimento.

A Figura 14 apresenta os resultados de força de ancoragem após o processo de envelhecimento.

Figura 14 – Resultados de força de ancoragem na condição ambiente.



FONTE: Próprio Autor.

Segundo a Figura 14, as fórmulas que obtiveram os melhores desempenhos nessa condição foram as fórmulas C e D, ambas pertencentes ao grupo I e apresentando valores próximos. As fórmulas A e E apresentaram valores intermediários e as fórmulas B e F foram as que obtiveram os piores desempenhos.

Correlacionando os dados das Figuras 13 e 14 observa-se que a condição do aspecto visual após o envelhecimento não influencia na força de ancoragem, visto que, as dispersões A e C são as que terminaram com o pior aspecto visual e ainda assim obtiveram bons resultados de força de ancoragem, enquanto que, a dispersão F terminou com um bom aspecto visual e o pior resultado de força de ancoragem.

Tabela 9 – Comparativo força de ancoragem ambiente e envelhecido.

Ancoragem (N)	Grupo I (S/B)				Grupo II (S/A)	
	Dispersão A	Dispersão B	Dispersão C	Dispersão D	Dispersão E	Dispersão F
Ambiente	36,67	17,55	36,89	36,62	30,06	28,19
Envelhecido	24,99	16,83	27,61	28,20	22,30	11,55
Perda de Ancoragem	-32%	-4%	-25%	-23%	-26%	-59%

FONTE: Próprio Autor.

O Tabela 9 apresenta uma comparação entre as forças de ancoragem em condição ambiente e envelhecida com o foco na perda percentual da força de

ancoragem. Os resultados indicam que a dispersão B foi a que teve a menor perda percentual de desempenho, o que se deve à boa resistência à água do polímero, que teve como foco de seu desenvolvimento o ramo de impermeabilizantes.

## 5 CONCLUSÃO

Os objetivos específicos propostos por esta monografia foram cumpridos de maneira satisfatória, foram realizadas as análises físico-químicas propostas nas dispersões poliméricas, foram executadas as aplicações e análises do *backing* na grama sintética.

Este trabalho tinha como objetivo uma análise comparativa entre seis dispersões poliméricas com diferentes composições monoméricas e propriedades físico químicas e com isso, entender se alguma dessas características influenciam a aplicação como *backing* em gramas sintéticas, nos parâmetros pré-determinados. Não há o comprometimento em eleger a melhor dispersão polimérica para essa aplicação pois existem diferentes condições de aplicação e parâmetros neste mercado.

Em termos do preparo da formulação, a única a apresentar instabilidade com o carbonato de cálcio foi a formulação B, isso acarretou no aumento da viscosidade da fórmula, extrapolando o valor *target* de 12000 mPa.s sem o uso de espessante. Esta instabilidade pode ter prejudicado o desempenho desta formulação nos testes posteriores.

Observando os resultados do teste de ancoragem ambiente, percebe-se que as dispersões compostas por monômeros S/B apresentaram um desempenho superior as compostas por monômeros S/A, com exceção da formulação B. Com relação às outras propriedades, não foi possível observar relação com os resultados.

Em relação ao aspecto visual do *backing* após o processo de envelhecimento, as formulações A e C foram as que apresentaram pior aparência, sendo apontado como causa a possível falta de antioxidante na sua composição ou uma pior resistência a água em relação aos outros.

Por fim, o teste de ancoragem envelhecido apontou as formulações C e D como as que obtiveram melhor desempenho, ambas compostas por monômeros S/B. Apesar do aspecto visual ruim após o processo de envelhecimento, as formulações A e C apresentaram resultados satisfatórios neste teste, em comparação com as outras formulações, sendo assim, não foi possível

correlacionar o aspecto visual com o desempenho no teste de ancoragem envelhecido.

A principal conclusão desta monografia foi que dispersões poliméricas compostas por monômeros S/B são mais adequadas a essa aplicação. No geral dispersões do grupo I obtiveram performance superior em todos os testes feitos, em especial as formulações C e D. Este trabalho abordou um pequeno número de amostras diferentes de dispersões poliméricas e executou alguns testes de mercado, assim, recomenda-se a avaliação de uma maior quantidade de dispersões e aditivos, utilizando outras formas de análise para a confirmação dos resultados encontrados e discussão de características não citadas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AL-SAAD, T. M.; HUSSEIN, B. H.; ALEABI, S. H. Investigation of optical properties and glass transition temperature of nano-epoxy matrix. **Bulletin of Materials Science**, v. 43, n. 1, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s12034-019-2004-0>>.
- BIASOTTO MANO, E.; MENDES, L. C. **Introdução a Polímeros**. 2. ed. São Paulo: Blücher, 1999.
- CANEVAROLO JÚNIOR, S. V. **Ciência dos Polímeros**. 2. ed. São Paulo: Artliber, 2010.
- DONALD, C. E. et al. Artificial turf: chemical flux and development of silicone wristband partitioning coefficients. **Air Quality, Atmosphere and Health**, v. 12, n. 5, p. 597–611, 2019.
- DRAKE, I. et al. Polyurea-acrylic hybrid emulsions: Characterization and film properties. **Polymer**, v. 181, n. August, p. 121761, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.polymer.2019.121761>>.
- FRANCO, F. H. **Síntese de macro-agentes de transferência de cadeia do tipo PEO-RAFT e sua utilização na polimerização em miniemulsão do estireno**. 2010. 2010.
- GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2002.
- JASTIFER, J. R. et al. Synthetic Turf: History, Design, Maintenance, and Athlete Safety. **Sports Health**, v. 11, n. 1, p. 84–90, 2019.
- JO, Y. K. Adhesion in tension of polymer cement mortar by curing conditions using polymer dispersions as cement modifier. **Construction and Building Materials**, v. 242, p. 118134, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118134>>.
- KELLER, M. et al. The Fate of Methicillin-Resistant Staphylococcus aureus in a Synthetic Turf System. **Sports Health**, v. X, n. 3, p. 263–270, 2020.
- KIM, K. et al. Styrene-butadiene-glycidyl methacrylate terpolymer/silica composites: Dispersion of silica particles and dynamic mechanical properties. **Composite Interfaces**, v. 21, n. 8, p. 685–702, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/15685543.2014.927720>>.
- LIU, B. et al. Mechanical and permeability properties of polymer-modified concrete using hydrophobic agent. **Journal of Building Engineering**, v. 31, n. February, p. 101337, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.job.2020.101337>>.
- MASSEY, R. et al. Artificial Turf Infill: A Comparative Assessment of Chemical Contents. **New Solutions**, 2020.
- PILZ, C. F. Influência das propriedades da resina nas propriedades de uma tinta base água. 2004.
- PRONK, M. E. J.; WOUTERSEN, M.; HERREMANS, J. M. M. Synthetic turf pitches with rubber granulate infill: are there health risks for people playing sports on such pitches? **Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology**, v. 30, n. 3, p. 567–584, 2020. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1038/s41370-018-0106-1>>.
- RABELLO, M. **Aditivação de Polímeros**. 1. ed. São Paulo: Artliber, 2011.
- ROBERT D. ATHEY, J. **Emulsion Polymer Technology**. Boca Raton: CRC Press, 1991.

SATAS, D.; TRACTON, A. A.; RAFANELLI, A. J. **Coatings Technology Handbook, Second Edition**. 3. ed. [s.l.] Taylor & Francis, 2002. v. 124

SCHNEIDER, K. et al. ERASSTRI - European Risk Assessment Study on Synthetic Turf Rubber Infill – Part 1: Analysis of infill samples. **Science of the Total Environment**, v. 718, p. 137174, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137174>>.

WINNIK, M. A. Latex film formation. **Current Opinion in Colloid & Interface Science**, p. 192–199, 1997.

XIE, R. et al. Glass transition temperature from the chemical structure of conjugated polymers. **Nature Communications**, v. 11, n. 1, p. 4–11, 2020. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1038/s41467-020-14656-8>>.

ZHANG, X. et al. The effect of xenon lamps radiation on artificial football turf. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, **Anais...**2019.