

SUBSTRATOS NATURAIS COMO NUCLEANTES NO SETOR POLIMERICO

Cristiane K. Santin [1e 2]; Jessica A. Souza [2].

[1] *Universidade Federal de Pelotas _UFPEL*
[2] *Universidade do Vale dos Sinos_UNISINOS*
Cristianekrause@hotmail.com

Palavras-Chave: agentes de nucleação, liliáceas, poli(ácido láctico)

Introdução

A expansão do uso de polímeros sintéticos de fonte fóssil e não biodegradáveis desencadeou uma série de consequências socioambientais. Por serem predominantemente empregados em embalagens, e, em algumas situações de uso único, apresentam um ciclo de vida curto, mas permanecem por séculos no ecossistema. Para minimizar o impacto ambiental, uma alternativa sustentável é o emprego de polímeros biodegradáveis. Nesse contexto, destaca-se o poli(ácido láctico) (PLA), um polímero biodegradável de propriedades similares aos polímeros *commodities* e, dentre a classe de polímeros sintéticos biodegradáveis, é o que possui menor custo de fabricação. Porém, sua produção e utilização em larga escala é prejudicada devido a sua baixa taxa de cristalização, fato que compromete suas propriedades mecânicas e sua estabilidade térmica, limitando sua processabilidade industrial e aplicação em embalagens que exigem maior resistência (FENG et al. 2018). A fim de superar essas limitações, pesquisas vêm investigando a incorporação de agentes de nucleação funcionais. Nessa perspectiva, o uso de substratos e substâncias de origem natural surge como uma estratégia promissora, unindo eficiência técnica e baixo impacto ecológico. Neste âmbito, tem-se a Aloe vera (*Aloe barbadensis Miller)* popularmente conhecida como babosa, a qual, conforme cita Criollo (2019), quando utilizada para a produção de bioplásticos agrega melhorias às propriedades químicas e físicas pois, em seu interior, há uma parte líquida e viscosa composta de 99% de água e 1% de sólidos totais e, entre estes, 0,55% são polissacarídeos mucilogênicos os quais possuem propriedades funcionais como gelificação e capacidade de retenção. Por outro lado, tem-se o alho-poró (*Allium porrum)*, cujo bulbo é amplamente utilizado na culinária, apresenta grande quantidade de folhas que geralmente são descartadas, tendo-se um material pouco explorado, passível de reaproveitamento e de investigação a fim de ampliar suas aplicações. Com este intuito, foram investigados o gel mucilaginoso de Aloe vera , na forma de pó, e as folhas verdes do alho-poró (*Allium porrum)* como sítios de desenvolvimento de cristalização do PLA. Para tal foram confeccionados filmes por *casting* de PLA puro para comparação, PLA com Aloe vera e PLA com alho-poró. Os respectivos filmes foram investigados quanto a sua cinética de cristalização pela técnica de Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC), segundo o modelo de Avrami, cujos resultados demonstraram que tanto a *Aloe vera* quanto o alho-poró possuem potencial para atuarem como agentes de nucleação. Complementando as caracterizações, as amostras foram submetidas a ensaios de caracterização térmica, mecânica, morfológica e colorimétrica**.** Não se observou influencia dos substratos naturais sobre a temperatura de transição vítrea dos

materiais desenvolvidos, mas influenciaram nos valores das transições primárias como a temperatura de transição da fusão (Tm), temperatura de transição da cristalização (Tc) à frio, e também no percentual de cristalinidade determinado. Através da análise de cor e brilho, observou-se diferença de coloração para as amostras contendo os substratos naturais, sendo que o filme contendo a Aloe vera apresentou maior semelhança ao filme padrão de PLA. Quanto a morfologia da superfície dos filmes, observou-se uma dispersão heterogênea dos substratos naturais. Frente as propriedades mecânicas, constatou-se que as amostras contendo os substratos naturais apresentaram valores inferiores a amostra de referência, contendo apenas o PLA, para os parâmetros de tensão na ruptura e módulo elástico. Tal comportamento não ocorreu no parâmetro de deformação na ruptura, no qual o filme com Aloe vera ficou semelhante ao padrão enquanto o com alho-poró apresentou valores abaixo. Os resultados sugerem que tanto o tipo de agente nucleante, assim como a dimensão, tamanho de particula e morfologia influenciam as propriedades mecânicas do material final. Contudo, verificou-se que tanto a Aloe vera quanto o alho-poró são promissores agentes nucleantes, sendo de origem vegetal, biodegradável e, influenciam de forma branda propriedades mecânicas, as quais podem ser otimizadas com ajustes na formulação ou inclusão de aditivos. Portanto, o estudo viabiliza novos caminhos para a modulação da cristalização do polímero, cujos resultados demonstram o potencial de valorização de matrizes vegetais nativas e subprodutos agrícolas na engenharia de materiais, fornecendo dados importantes para o desenvolvimento de artefatos ecológicos, biodegradáveis e de maior valor agregado.

Material e Métodos

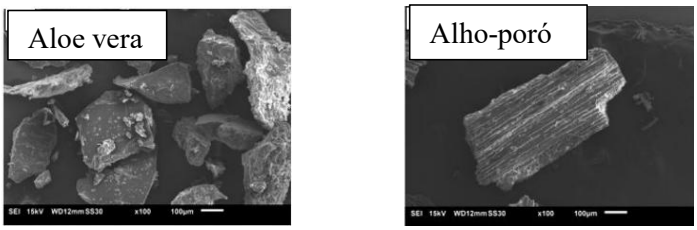
Para o presente estudo foi utilizado um PLA (IngeoTM biopolymer, código 003D) produzido pela empresa NatureWorks LLC/EUA, grau filme. As folhas de Aloe vera, obtidas de produção particular, foram filetadas superficialmente para a coleta do gel mucilaginoso, sendo, posteriormente, triturado e seco em estufa por 240 minutos a 105°C. Os sólidos secos foram, então, triturados em processador doméstico e macerados a fim de diminuir o tamanho de partícula. As partículas utilizadas passaram pelas peneiras de 35 e 48 *mesh* da série *Tyler*. As folhas do alho-poró, adquiridas comercialmente, foram, primeiramente, separadas do bulbo da hortaliça e, em seguida, lavadas em água corrente. Para garantir a secagem total das folhas e suas fibras, após a lavagem, essas foram submetidas à secagem em estufa por 90 minutos à 150°C. Posteriormente foram trituradas e maceradas, sendo as partículas que passaram nas peneiras de 35 e 48 *mesh* da série *Tyler* utilizadas no estudo. Filmes de PLA puro, PLA contendo 5% w/w de Aloe vera e/ou alho-poró, foram preparados pelo método *casting* utilizando diclorometano (Dinâmica, pureza de 99,5 %) como solvente. O percentual de nucleante foi baseado nos estudos de Feng *et al.* (2018) utilizando agentes nucleantes de base sintética e de Dartora (2018) a qual utilizou a goma de cajueiro. Para a melhor dispersão dos grãos, os agentes de nucleação foram submetidos à um banho ultrassônico (modelo Elmasonic S 30H) antes de sua mistura com o PLA. Após a dispersão das partículas, adicionou-se o PLA na forma de pellets, cuja dissolução foi realizada em uma chapa metálica, sob agitação, por 3 horas. Posteriormente, o produto obtido foi vertido em placas de petry para evaporação do solvente e obtenção dos filmes. Cada amostra foi feita em triplicata. As amostras foram identificadas como PLA_P (Filme de PLA Puro), PLA_{AV} (Filme de PLA/Aloe

vera) e PLA_{AP} (Filme de PLA/alho-poró). Os substratos naturais, em pó, foram caracterizados quanto ao teor de umidade (Analisador de umidade, modelo Mark 3, Sartorius); grupos funcionais presentes (espectroscopia no infravermelho, ATR_FTIR; *Thermo Scientific*, modelo Nicolet iS50, resolução de 4 cm^{-1}, 32 scans, 4000 cm^{-1} a 650 cm^{-1}); tamanho de partícula e morfologia (microscopia eletrônica de varredura_MEV, marca JEOL, modelo JSM-6010LA, SEI e tensão de 15 kV e microscopia por incisão de fótons, marca *Olympus*, modelo SZX-16). Os filmes obtidos foram analisados por ATR_FTIR e MEV, além da variação de cor e brilho (Spectro-Guide 45/0 Gloss). O comportamento mecânico foi avaliado por ensaio de tração (Máquina Universal de Ensaios EMIC DL 5000, célula de carga de 1kN, velocidade de 10 mm/min), aplicando-se a análise da variância (ANOVA) para critério com teste de Tukey ao nível de confiança de 5% a fim de verificar a significância dos resultados. Para a determinação das transições térmicas, cinética de cristalização e percentual de cristalinidade foi utilizado um calorímetro exploratório diferencial (DSC, T*A Instruments*, modelo Discovery DSC 250, sob $N_{2\ (g)}$, fluxo de 50 mL/min e taxa de aquecimento de 10°C/min, entre 25ºC a 200ºC).

Resultados e Discussão

Quanto ao teor de umidade, após o processo de secagem e redução do tamanho de partícula, o resultado obtido, em massa, para a Aloe vera foi de 7,1 ± 0,1%, valor este que corrobora com os encontrados por Lacerda (2016), e de 8,8 ± 0,4% para o alho-poró. Quanto aos grupos funcionais presentes nos subtratos naturais, a análise de ATR_FTIR demonstrou absorções na região a 3292 cm^{-1} indicando a presença de grupos -OH referente a umidade e característico de polissacarídeos; a 2921 cm^{-1} relacionada aos estiramentos assimétricos do grupamento - CH_2; a 1725 cm^{-1}; 1598 cm^{-1}; 1419 cm^{-1}; 1373cm^{-1} e 1239 cm^{-1} referentes à presença de alongamentos C-O, COO- e C-O-C do grupo acetil; e nas regiões a 1027 cm^{-1}, 895 cm^{-1}; 808 cm^{-1} e 768 cm^{-1} relacionadas a presença C-O-C de éter. (Dalonso et al. 2009; Minjares-Fuentes et al. 2016). As análises de MEV das partículas de Aloe vera e de alho-poró visando avaliar o aspecto superficial, morfologia e tamanho das partículas estão apresentadas na Figura 1.

Figura 1. Micrografia eletrônica de varredura (MEV) da Aloe vera (a) e do alho-poro (b), ambos em pó. Magnificação 100x; modo SEI.



(a) (b)

As imagens permitem identificar irregularidade no formato superfície e tamanho para ambos substratos, tendo a Aloe vera um formato mais arredondado de característica esponjosa e, comparado com o alho-poró, apresenta partículas menores. Santos (2017) ao elaborar um biopolímero de Aloe vera relata que a aparência esponjosa das partículas pode ser atribuída a materiais higroscópicos. Já, o alho-poró, demonstra um formato alongado e uma superfície com fibras longitudinais no sentido do alongamento da partícula, fato também observado nos estudos de Marinelli *et al*. (2008). O diametro médio de particula determinado para a Aloe vera foi de 232,6 ± 90,2 µm e para o alho-poró de 284,5 ± 179,0 µm. Análise das partículas por microscopia por incisão de fótons revelaram igualmente uma heterogeneidade quanto as morfologias e diâmetros médio de partícula na faixa de 240,6 ± 112,9 µm para a Aloe vera e de 311,9 ± 204,2 µm, valores próximos aos obtidos utilizando o MEV. As micrografias de MEV revelaram que os filmes PLA_{AV} apresentaram uma dispersão superior das partículas de *Aloe vera* na matriz de PLA em relação àqueles com alho-poró (PLA_{AP}). Dessa forma, os substratos diferenciam-se em sua morfologia e granulometria, características que influenciam o processo de dispersão e, por conseguinte, a homogeneidade estrutural, bem como as propriedades térmicas e mecânicas dos filmes obtidos. Complementando os estudos, as superfícies das amostras foram investigadas quanto as suas propriedades colorimétricas. Os valores obtidos de cor e brilho dos filmes de PL_P, PLA_{AV} e PLA, encontram-se na Tabela 1, enquanto as propriedades mecânicas dos filmes PLA_P, PLA_{AV} e PLA_{AP} estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 1.Valores dos parâmetros de cor e brilho pelo sistema CIELab dos filmes de PL_P, PLA_{AV} e PLA_{AP}.

Amostra	L*	a*	b*	x	ΔE**
PLA_P	91,23	-1,01	2,16	56,7	-
PLA_{AV}	89,06	-0,40	5,50	51,8	4,02
PLA_{AP}	82,11	+0,36	13,21	20,7	14,38

**Calculado em relação ao PLA_P

Tabela 2. Resultados das propriedades mecânicas avaliadas pelo ensaio de tração como tensão na ruptura (Mpa), deformação na ruptura (%) e módulo elástico (MPa).

Filme	Tensão na Ruptura [Mpa]	Deformação na Ruptura [%]	Módulo Elástico [MPa]
PLA_P	$40,1 \pm 5,4^a$	$6,3 \pm 1,1^a$	886 ± 39^a
PLA_{AV}	$25,7 \pm 5,9^b$	$6,2 \pm 0,5^a$	504 ± 96^b
PLA_{AP}	$9,1 \pm 4,3^c$	$2,9 \pm 0,3^b$	392 ± 57^b

Legenda: Os valores apresentados em uma mesma coluna e com diferentes letras indicam diferença significativa entre as médias ($p \leq 0,05$).

Os resultados da Tabela 2 demonstram uma diminuição na tensão na ruptura e no modulo elástico com a inserção dos substratos naturais tendo-se uma diferença significativa ($p < 0,05$) quando comparados ao filme polimérico puro, o PLA_P. Tal comportamento também foi evidenciado por Sanson, Ribeiro e Carvalho (2017) que avaliaram as propriedades mecânicas de um filme compósito de PLA com fibras de celulose oriundas de papelão reciclado, utilizando concentrações de 10% e 20% de fibras. Quanto a deformação na ruptura o filme de PLA_{AV} demonstrou resultados satisfatórios em comparação ao PLA_P ($p > 0,05$) inferindo-se que a presença da Aloe vera, como agente nucleante, não impactou na deformação do filme de PLA. Resposta contrária foi observada para o filme PLA_{AP}, o qual apresentou deformação 54% menor em relação ao PLA_P , indicando um alongamento menor devido à presença do nucleante, fato que pode ser correlacionado a morfologia esponjosa evidenciada, tendo uma melhor interação com o polímero PLA matriz, e a heterogeneidade observada quanto ao tamanho e diâmetro de tais partículas. Acredita-se que novamente a dispersão das partículas, assim como tamanho e diâmetro destas interferiram nos valores das propriedades mecânicas estudadas, evidenciando-se uma melhor performance quando do uso da Alo vera. Ja, o alho poró apresentou uma morfologia mais alongada, com uma superfície com fibras longitudinais no sentido do alongamento da partícula, aumentando a rigidez e resistência a ruptura do filme. Os resultados quanto ao comportamento térmico dos filmes desenvolvidos, PLA puro e PLA com os agentes de nucleação, estão apresentados na Tabela 3.

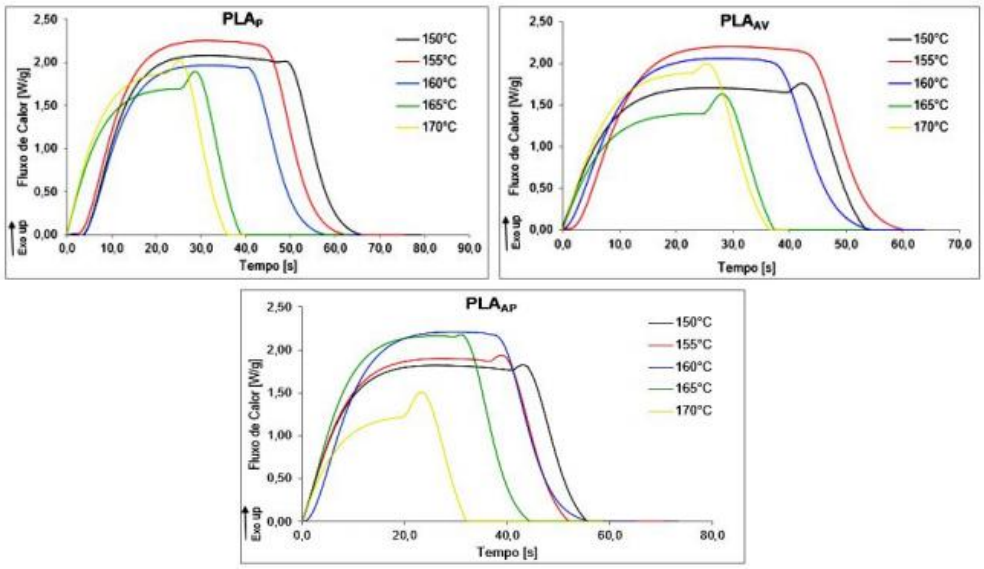
Tabela 3. Valores das transições térmicas (Tg, Tm e T_{CF}) e temperatura, entalpia (ΔH) e grau de cristalinidade (Xc %) referentes aos eventos térmicos das amostras de PLA_P, PLA_{AV} e PLA_{AP}.OBS: Dados do segundo aquecimento.

Amostra	T_g [°C]	T_{CF} [°C]	T_m [°C]	ΔH_{CF} [J/g]	ΔH_m [J/g]	X_{CF} [%]
PLA_P	60	124	150	14,5	17,0	2,6
PLA_{AV}	60	115	148	21,2	23,9	3,1
PLA_{AP}	60	114	148	20,6	24,4	4,3

Nota-se que a temperatura de transição vítrea (Tg) não sofreu variação e apresentou igual comportamento para as três amostras, fato que indica que a adição dos agentes de nucleação à matriz polimérica do PLA não influenciou a região amorfa do polímero, mantendo os valores da Tg. Quanto a temperatura de cristalização à frio o PLA_P apresentou um maior valor quando comparada aos filmes PLA_{AV} e PLA_{AP}, fato que corrobora com os dados encontrados por De Oliveira (2016) que adicionou concentrações de fibra de curauá no PLA e constatou igual efeito. Quanto as temperaturas de transição da fusão (Tm) nota-se um sutil estreitamento e alongamento dos picos nas amostras de PLA_{AV} e PLA_{AP}, quando comparadas a Tm do PLA_P, fato associado à modificação no tamanho dos cristalitos. Um aumento de 18% e de 62% em relação ao PLA_P foi observado para o grau de cristalinidade (X_{CF}%) nos biofilmes PLA_{AV} e PLA_{AP}. De acordo com De Oliveira (2016) o aumento do

grau de cristalinidade indica que a formação dos cristais é intensificada no polímero, o que corrobora com os valores encontrados neste estudo indicando influência da Aloe vera e do alho-poró como potenciais agentes de nucleação. Destaca-se que, apesar da heterogeneidade na dispersão e da variabilidade no tamanho e diâmetro das partículas dos substratos naturais, tais fatores não impactaram significativamente o valor das temperaturas avaliadas, mas influenciaram as energias entálpicas obtidas através do termogramas cujos perfis demonstram estreitamento e a presença de um ombro para algumas temperaturas, Figura 2. O estudo do comportamento cinético de cristalização foi realizado utilizando o modelo de Avrami, cujos termogramas estão representados na Figura 2.

Figura 2. Perfil das curvas de cristalização isotérmica do PLA_P, PLA_{AV} e PLA_{AP} nas temperaturas de 150°C, 155°C, 160°C, 165°C e 170°C.



Através da Figura 2, observa-se a influência das isotermas de cristalização no processo de transição de fases. O deslocamento das curvas para a esquerda infere que em maiores temperaturas o tempo de cristalização é reduzido, influenciando, portanto, na velocidade de cristalização e na mobilidade molecular (Wellen 2002), facilitando a ordenação cristalina. Ainda, o crescimento dos cristalitos depende da formação de um núcleo a partir do qual ocorre a multiplicação das cadeias que atuam na formação destes cristalitos (Dartora 2018); processo este evidenciado em todas as amostras. Um crescimento uniforme dos cristalitos ao longo do tempo é observado para o PLAp entre as temperaturas de 150ºC a 160ºC, já no PLA_{AV} foi em temperaturas de 155ºC e 160ºC e no PLA_{AP} apenas na temperatura de 160ºC. As demais amostras demonstram heterogeneidade no crescimento dos cristalitos, aspecto vinculado à presença de um ombro nas isotermas, o que pode ser atribuído à variação na morfologia e na granulometria discutida anteriormente. O tempo de meia-vida e a constante

cinética de cristalização (*k*), obtida a partir da exponencial do coeficiente angular do gráfico linearizado de Avrami, estão apresentados na Tabela 4**.**

Tabela 4. Tempo de meia vida e constante cinética de cristalização para as amostras de PLA_P, PLA_{AV} e PLA_{AP} nas temperaturas de 150°C, 155°C, 160°C, 165°C e 170°C.

Temperatura [°C]	PLA_P		PLA_{AV}		PLA_{AP}	
	$t_{1/2}$ [s]	$k*10^3$ [s^{-1}]	$t_{1/2}$ [s]	$k*10^3$ [s^{-1}]	$t_{1/2}$ [s]	$k*10^3$ [s^{-1}]
150	32,9926	0,1030	26,9905	3,7968	27,6506	2,4101
155	30,4898	0,1127	29,1322	0,2138	25,8926	2,2793
160	28,9658	0,0946	25,7126	0,6488	26,4465	0,3321
165	20,3291	3,5610	19,8156	5,2240	21,6716	1,8168
170	18,3497	4,5360	18,5836	3,4735	17,3766	8,2867

A partir dos dados da Tabela 4, no PLA_P observa-se uma diminuição no $t_{1/2}$, mostrando que em temperaturas elevadas o crescimento dos cristalitos ocorre de forma mais rápida. Entretanto, houve um aumento expressivo nos valores de *k* em 165°C e 170°C devido às mudanças no movimento dos cristalitos que apesar de crescerem mais rapidamente, a mobilidade desta formação não favoreceu a constante cinética de cristalização, conforme apresentado nas curvas isotérmicas da Figura 2, sendo representado por um "ombro" antes do decaimento da isoterma. Comportamento semelhante foi observado para os filmes de PLA_{AV} e PLA_{AP}. Ainda, a partir dos dados da Tabela 5, infere-se que o alho-poró, como agente de nucleação, modificou de forma mais pronunciada o crescimento e o movimento dos cristalitos do PLA, ocorrendo degradação deste substrato, na temperatura de 170°C. Complementando os estudos, e, visando avaliar o processo de nucleação e a morfologia do crescimento dos cristais determinou-se o expoente de Avrami (determinado por "*n*") a partir do coeficiente linear da curva linearizada de Avrami, para todos os filmes e nas temperaturas de 150°C, 155°C, 160°C, 165°C e 170°C, cujos valores estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Expoente de Avrami, *n*, para as amostras de PLA_P, PLA_{AV} e PLA_{AP} nas temperaturas de 150°C, 155°C, 160°C, 165°C e 170°C.

Temperatura [°C]	PLA_P	PLA_{AV}	PLA_{AP}
150	2,55	1,58	1,71
155	2,57	2,42	1,76
160	2,65	2,16	2,35
165	1,77	1,65	1,95
170	1,73	1,84	1,55

Observa-se um aumento do expoente de Avrami até a temperatura de 160ºC, com posterior diminuição neste parâmetro, indicando um favorecimento do processo de cristalização. Ainda, os valores indicam um processo heterogêneo, assim como um crescimento bidimensional, na forma de disco ou lamelas ou um crescimento esferulitico

heterogêneo tanto para o filme de PLA_P quanto para PLA_{AV} e PLA_{AP}. Ainda, sugerem que a presença das partículas naturais de *Aloe vera* ou alho-poró promoveram predominantemente uma nucleação heterogênea, onde os fragmentos dispersos atuaram como sítios ativos pré-existentes na matriz polimérica. Isso altera o regime de nucleação de esporádica para instantânea, reduzindo a barreira energética para a formação de cristais. A variação discreta do expoente ao longo das temperaturas avaliadas indica que o mecanismo fundamental de crescimento cristalino do PLA não foi drasticamente modificado pela introdução dos substratos, mas sim acelerado. A similaridade nos valores de "n" entre o PLA_{AV} e o PLA_{AP} reforça que ambos os resíduos vegetais compartilham uma eficiência nucleante semelhante, induzindo geometrias de crescimento equivalentes na matriz do PLA.

Conclusões

As análise de MEV e estereomicroscopia indicaram um diametro medio de particula para a Aloe vera de 232,6 ± 90,2 µm e 240,6 ± 112,9 µm e para o alho-poró de 284,5 ± 179,0 µm e 311,9 ± 204,2 µm. O teor de umidade foi de 7,1 ± 0,1% (Aloe vera) e 8,8 ± 0,4% (alho-poró). Por ATR_FTIR identificaram-se grupos funcionais característicos de polissacarídeos para ambos os substratos sem alterar a estrutura química do polímero matriz PLA. Na colorimetria o PLA_{AV} apresentou similaridade de 96% ao padrão de PL_{AP}, enquanto o PLA_{AP} apresentou 86%. Os filmes aditivados apresentaram fragmentos visíveis e dispersos no substrato, tendo-se, portanto, uma estrutura heterogênea e com diferença de fases. Quanto as propriedades térmicas, a adição dos substratos não alterou a Tg e Tm dos filmes desenvolvidos, mas aumentou o grau de cristalinidade em 20% (PLA_{AV}) e 66% (PLA_{AP}) em relação ao PL_{AP}. Com relação a tensão de ruptura, deformação na ruptura e módulo de Young dos filmes produzidos observou-se diminuição em seus valores quando da inserção dos substratos naturais. Sugere-se que os substratos tenham atuado também como concentradores de tensão. Porem o PLA_{AV} demonstrou uma deformação na ruptura muito similar ao PLA_P ($p > 0,05$). Através da análise das isotermas obtidas por DSC, utilizando o método de Avrami, observou-se que a cinética de cristalização foi influenciada tanto pela temperatura quanto pelos agentes nucleantes utilizados, os quais conferiram uma cristalização mais rápida ao polímero. Destes a Aloe vera apresentou-se de forma mais promissora em termos de nucleação e cinética de cristalização. Dessa forma, o conjunto de caracterizações físicas, químicas, térmicas e mecânicas empregado permitiu avaliar o potencial do gel de *Aloe vera* e do pó de alho-poró como agentes nucleantes, bem como o seu impacto na estrutura e no desempenho dos filmes de PLA obtidos. Ressalta-se que estudos complementares envolvendo estabilidade, biodegradação, assim como desempenho em condições reais são fundamentais para consolidar a viabilidade tecnológica desses materiais e ampliar suas perspectivas de aplicação no desenvolvimento de materiais sustentáveis.



Agradecimentos

Os autores agradecem ao Instituto SENAI de Inovação em Engenharia de Polímeros, pelo apoio no desenvolvimento deste trabalho.

Referências

CRIOLLO, D.M.Z. **Evaliación de Biopelículas Formuladas a partir de Almidón de Banano Verde (Musa paradisíaca) y Yuca (Manichot esculenta) com Gel de Sábila (Aloe Vera).** Universidad Nacional de Piura, Facultad de Ingeniería Industrial, Escuela Professional de Agroindustrial e Industrias Alimentarias. 2019, 119p.

DE OLIVEIRA, J.M. **Obtenção e Caracterização de Compósitos Biodegradáveis de Poliácido Láctico (PLA) Reforçados com Fibras de Curauá.** Tese (Mestrado em Integridade de Materiais da Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Integridade de Materiais da Engenharia. Faculdade Gama e Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

FENG, Y.; MA, P.; XU, P.; WANG, R.; DONG, W.; CHEN, M.; JOZIASSE,C. The Crystallization Behavior of Poly(lactic acid) With Different Types of Nucleating Agents. **Int. J. of Biol. Macrom.** 106, p. 955- 962, 2018.
DALONSO, N; IGNOWSKI, E; MONTEIRO, C.M.A; GELSLEICHTER, M; WAGNER, T.M; SILVEIRA, L.L; SILVA, D.A.K. Extração e Caracterização de Carboidratos Presentes no Alho (*Allium sativum):*Proposta de Metodologia Alternativa. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas. 29(4): 793-797, 2009.

LACERDA, G.E. **Composição Quimica Fitoquímica e Dosagem de Metais Pesados das Cascas das Folhas Secas e do Gel Liofilizado de *Aloe vera* Cultivadas em Hortas Comunitárias da Cidade de Palmas, Tocantins.** Dissertação de Mestrado – Ciências da Saúde. Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2016.

MARINELLI, A.L; MONTEIRO, M.R; AMBRÓSIO, J.D. Desenvolvimento de Compósitos Poliméricos com Fibras Vegetais Naturais da Biodiversidade: Uma Contribuição para a Sustentabilidade Amazônica. **Polímeros: Ciência e Tecnologia.** vol. 18, nº2, p.92-99, 2008.

MINJARES-FUENTES, R; FEMENIA, A; COMAS-SERRA, F; ROSSELLÓ,C; RODRÍGUEZ-GONZÁLES, V.M; GONZÁLES-LAREDO, R.F; GALLEGOS-INFANTE, J.A; MEDINA-TORRES, L. Effect of Different Drying Procedures on Physicochemical Properties and Flow Behavior of Aloe Vera (*Aloe barbadensis Miller)* gel. **LWT – Food Science and Technology**. Vol. 74, pp. 378- 386, 2016.

SANSON, E.L., RIBEIRO, K.C. CARVALHO, B.M. **Caracterização Térmica, Mecânica e Morfológica de Compósitos Biodegradáveis de PLA-Celulose.** XXVI Encontro Anual de Iniciação Científica, Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2017.

SANTOS, W.S. **Caracterização de Biopolímeros Extraídos da Babosa (*Aloe arborescens)* e Avaliação no Processo de Floculação e Coagulação no Tratamento de Água.** Trabalho de Conclusão.Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Pato Branco, 2017.

WELLEN, R.M.R. **Cinética de Cristalização a Frio do Poli(Tereftalato de Etileno).** Tese (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 2002.