



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

VITORIA GOUVEIA RESTA

**DESENVOLVIMENTO DE REVESTIMENTO
BIODEGRADÁVEL PARA PELETIZAÇÃO
DE SEMENTES DE TOMATE**

Londrina
2021

VITORIA GOUVEIA RESTA

**DESENVOLVIMENTO DE REVESTIMENTO
BIODEGRADÁVEL PARA PELETIZAÇÃO
DE SEMENTES DE TOMATE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Biotecnologia, nível mestrado, da Universidade Estadual de Londrina - UEL, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Biotecnologia.

Orientador: Prof^a. Dr^a. Suzana Mali de Oliveira.
Coorientador: Prof. Dr. André Luiz M. de Oliveira.

Londrina
2021

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

Resta, Vitoria Gouveia.

Desenvolvimento de revestimento biodegradável para peletização de sementes de tomate / Vitoria Gouveia Resta. - Londrina, 2021.
64 f. : il.

Orientador: Suzana Mali de Oliveira.

Coorientador: André Luiz Martinez de Oliveira.

Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Exatas, Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia, 2021.

Inclui bibliografia.

1. Sementes - Tese. 2. Tomate - Tese. 3. Revestimento biodegradável - Tese. 4. Biopolímeros - Tese. I. Mali de Oliveira, Suzana. II. Martinez de Oliveira, André Luiz. III. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Exatas. Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia. IV. Título.

CDU 66

VITORIA GOUVEIA RESTA

**DESENVOLVIMENTO DE REVESTIMENTO
BIODEGRADÁVEL PARA PELETIZAÇÃO
DE SEMENTES DE TOMATE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Biotecnologia, nível mestrado, da Universidade Estadual de Londrina - UEL, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Biotecnologia.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof^a. Dr^a. Suzana Mali de Oliveira
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof^a. Dr^a. Elisete Pains Rodrigues
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof^a. Dr^a. Léa Rita P. F. Mello Ivano
Faculdade Dom Bosco - UNIDOMBOSCO

Londrina, 24 de fevereiro de 2021.

Dedico à minha família, amparo incomparável de todas as horas, esteio fundamental em todas as iniciativas.

AGRADECIMENTOS

À Prof^a. Dr^a. Suzana Mali de Oliveira, minha orientadora que acompanhou grande parte da minha vida acadêmica sendo sempre paciente e compreensiva. Agradeço por todos esses anos de parceria e amizade, pelos ensinamentos, apoio e por sempre ter acreditado em mim.

Ao Prof. Dr. André Luiz M. de Oliveira, meu coorientador por toda a ajuda na elaboração do projeto, pelos ensinamentos e incentivo.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia que contribuíram com a minha formação, agradeço pelo auxílio, ensinamentos e incentivo.

À Universidade Estadual de Londrina (UEL) pela oportunidade, por conceder a estrutura, materiais e equipamentos necessários para o desenvolvimento do projeto.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pela concessão da bolsa durante todo o período de realização deste mestrado. Pois, o presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

A todos que contribuíram com o andamento do projeto, especialmente a graduanda e aluna de iniciação científica Jordana Nogueira Laite de Araújo, Doutoranda Gina Alejandra Gil Giraldo e os responsáveis pela casa de vegetação da Universidade Estadual de Londrina onde foram realizados os testes de germinação.

À minha família por me ensinar a importância do estudo e da instrução para a minha vida, pela confiança, por toda a dedicação, apoio e paciência contribuindo diretamente para que eu pudesse ter um caminho mais fácil durante esses anos. E agradeço a Deus por mais essa conquista.

“Nenhuma sociedade que esquece a arte de questionar pode esperar encontrar respostas para os problemas que a afligem”.

Zygmunt Bauman

RESTA, Vitoria Gouveia. **Desenvolvimento de revestimento biodegradável para peletização de sementes de tomate**. 2021. 64 f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2021.

RESUMO

O cultivo de hortaliças requer melhorias considerando a qualidade das sementes e a redução do impacto ambiental das práticas agrícolas atuais. Nesse cenário, a técnica de revestimento de sementes com materiais biodegradáveis representa uma alternativa ecologicamente correta para o melhoramento de sementes. O objetivo deste trabalho foi desenvolver e caracterizar revestimento biodegradável de baixo custo à base de amido de mandioca, gelatina e casca de aveia para a peletização de sementes de tomate. Trata-se de uma formulação de revestimento inovadora e que representa uma opção de reaproveitamento da casca de aveia que é um resíduo agroindustrial. Para a peletização das sementes foram empregadas a matriz polimérica resultante da mistura de amido e gelatina em diferentes proporções, com função adesiva, e a casca de aveia com função de enchimento. As sementes peletizadas foram caracterizadas em termos de rendimento de produção, densidade, distribuição de massa, pH, umidade, solubilidade, capacidade de absorção e adsorção de água, microestrutura e propriedades térmicas. As sementes de tomate peletizadas resultaram em sementes com novo formato, menores densidades e maiores massas do que as sementes não peletizadas. O pH das sementes peletizadas variou de 6,09 a 6,55, e o conteúdo de umidade variou de 7,68 a 9,08%. Maiores proporções de amido resultaram em péletes mais quebradiços de difícil manuseio, com menor rendimento de produção, enquanto maiores conteúdos de gelatina resultaram em péletes menores e mais rígidos. Formulações com maiores proporções de amido geraram péletes mais solúveis e quando produzidos somente com gelatina apresentaram menores valores de capacidade de absorção de água. Em contraste, as análises de adsorção de água indicaram maior higroscopicidade da gelatina comparada ao amido. As diferentes proporções de amido e gelatina nas formulações não influenciaram no comportamento calorimétrico e microestrutura dos péletes. A formulação com 50% de amido e 50% de gelatina apresentou maior rendimento de produção, facilidade de manuseio, menor solubilidade e maior capacidade de absorção de água, comparada às demais, sendo considerada a melhor formulação. Desta forma, as sementes produzidas com essa formulação foram cultivadas e apresentaram germinação de 75%, indicando que essa formulação é promissora para peletização de sementes de tomate.

Palavras-chave: sementes; tomate; revestimento biodegradável; péletes; biopolímeros.

RESTA, Vitoria Gouveia. **Development of biodegradable coating for pelleting tomato seeds**. 2021. 64 pp. Dissertation (Master's degree in Biotechnology) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2021.

ABSTRACT

The vegetable cultivation requires improvements considering seed quality and reduction of the environmental impact of current agricultural practices. Therefore, the seed coating technique with biodegradable materials represents an environmentally friendly alternative for seed improvements. The objective of this study was to develop and characterize a low-cost biodegradable polymeric matrix based on cassava starch, gelatin and oat hulls for pelleting tomato seeds. The coating formulation is unprecedented and represents an option for reuse of oat hull, an agro-industrial waste. The polymeric matrix for pelleting the seeds was produced from a mixture of starch and gelatin in different proportions, as binder material, and oat hulls as filler material. The pelleted seeds were characterized in terms of their production yield, density, mass distribution, pH, moisture content, solubility, water absorption and water adsorption capacity, microstructure, and thermal properties. Pelleted tomato seeds resulted in seeds with different shape, lower densities and higher masses than unpelleted seeds. The pH of the pelleted seeds ranged from 6.09 to 6.55, and the moisture contents ranged from 7.68 to 9.08%. The highest proportions of starch resulted in more brittle and soluble pellets, which were difficult to handle and showed worst production yield, while the higher gelatin contents resulted in harder and smaller pellets, and when made only with gelatin showed water absorption capacity decreased. In contrast, the results of water adsorption capacity denote that gelatin possesses greater hygroscopicity than starch. The difference in the proportions of starch and gelatin did not influence the microstructure and calorimetric behavior. The formulation with 50% starch and 50% gelatin resulted in superior properties compared to the other formulations, such as higher production yields, easier handling, lower solubility and higher water absorption capacity, compared to the others, being considered the best formulation. Thereby, the seeds produced with this formulation were grown and showed 75% germination, indicating that this formulation is promising for use in pelleting tomato seeds.

Key-words: seeds. tomato. biodegradable coating. pellets. biopolymers.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	–	Maiores produtores mundiais de tomate	17
Figura 2	–	Sementes sem revestimento e péletes produzidos	38
Figura 3	–	Exemplos de defeitos encontrados em péletes parciais.....	40
Figura 4	–	Isotermas de sorção de umidade das sementes peletizadas	47
Figura 5	–	Cinética de sorção de água das sementes peletizadas	49
Figura 6	–	Espectro de FT-IR das diferentes formulações de péletes.....	51
Figura 7	–	Termogramas obtidos por DSC para as diferentes formulações.....	52
Figura 8	–	Micrografias dos péletes produzidos obtidas por MEV.....	54

LISTA DE TABELA

Tabela 1	– Exemplos de revestimentos de sementes descritos na literatura.....	27
Tabela 2	– Revestimentos patenteados para peletização de sementes	29
Tabela 3	– Proporção de amido e gelatina empregada nos revestimentos.....	33
Tabela 4	– Rendimento de produção dos revestimentos secos.....	39
Tabela 5	– Densidade e massa média das sementes com e sem revestimento.....	41
Tabela 6	– Análise de pH e umidade das formulações produzidas.....	42
Tabela 7	– Resultados da análise de solubilidade das formulações produzidas.....	44
Tabela 8	– Resultados da capacidade de absorção de água das formulações.....	45
Tabela 9	– Parâmetros do modelo GAB* para as sementes peletizadas.....	48
Tabela 10	– Parâmetros do modelo de PELEG* para as sementes peletizadas	50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
BOD	<i>Biochemical Oxygen Demand</i>
cm	Centímetros
DSC	Calorimetria Exploratória Diferencial
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EUA	Estados Unidos da América
FDA	<i>Food and Drug Administration</i>
FAO	<i>Food and Agriculture Organization</i>
FAOSTAT	<i>Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database</i>
FT-IR	Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier
g	Unidade de medida Gramas
GAB	Modelo de isotermas: <i>Guggenheim-Anderson-de Boer</i>
GRAS	<i>Generally Recognized as Safe</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia Estatística
IL	<i>Illinois</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
kV	Unidade de medida Quilovolt
LSPA	Levantamento Sistemático da Produção Agrícola
LTDA	Limitada
MAPA	Ministério da agricultura, Pecuária e Abastecimento
Mesh	Unidade de medida de granulometria de peneiras da ASTM
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
min	Minutos
mL	Unidade de medida Mililitros
mm	Unidade de medida Milímetros
m / v	Relação massa / volume
NBR	Norma Brasileira
PBS	<i>Phosphate – Buffered Saline</i> (Tampão Fosfato – Salino)
PR	Paraná
SC	Santa Catarina

UEL Universidade Estadual de Londrina
UR Umidade Relativa

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS	16
2.1.	OBJETIVO GERAL.....	16
2.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
3.1.	A CULTURA DO TOMATE	17
3.2.	AGRICULTURA DE PRECISÃO SUSTENTÁVEL	19
3.3.	REVESTIMENTO DE SEMENTES.....	20
3.3.1.	Peletização de Sementes.....	21
3.3.2.	Materiais Empregados no Revestimento de Sementes.....	23
3.3.2.1.	Aplicação de revestimentos de sementes	26
3.3.2.2.	Aplicação da técnica de peletização de sementes	28
3.3.3.	Efeitos do Revestimento Sobre a Qualidade Fisiológica das Sementes	30
4	MATERIAL E MÉTODOS	32
4.1.	MATERIAL	32
4.2.	MÉTODOS	32
4.2.1.	Produção dos Revestimentos.....	32
4.2.2.	Caracterização dos Revestimentos.....	33
4.2.2.1.	Rendimento de produção.....	33
4.2.2.2.	Densidade e distribuição de massa das sementes	33
4.2.2.3.	pH e umidade	34
4.2.2.4.	Solubilidade.....	34
4.2.2.5.	Capacidade de absorção de água.....	34
4.2.2.6.	Isotermas de sorção de água	35
4.2.2.7.	Cinética de sorção de água.....	35
4.2.2.8.	Espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier	36
4.2.2.9.	Calorimetria exploratória diferencial	36
4.2.2.10.	Microscopia eletrônica de varredura	37

4.2.2.11.	Germinação.....	37
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
5.1.	ANÁLISE QUALITATIVA E RENDIMENTO DE PRODUÇÃO.....	38
5.2.	DENSIDADE E DISTRIBUIÇÃO DE MASSA DAS SEMENTES.....	40
5.3.	PH E UMIDADE	42
5.4.	SOLUBILIDADE	44
5.5.	CAPACIDADE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA	45
5.6.	ISOTERMAS DE SORÇÃO DE ÁGUA.....	47
5.7.	CINÉTICA DE SORÇÃO DE ÁGUA	48
5.8.	ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO COM TRANSFORMADA DE FOURIER.....	50
5.9.	CALORIMETRIA EXPLORATÓRIA DIFERENCIAL	52
5.10.	MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA	53
5.11.	GERMINAÇÃO	54
6	CONCLUSÃO	55
	REFERÊNCIAS.....	56

1 INTRODUÇÃO

O tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) é um fruto de grande importância comercial, sendo um dos produtos mais cultivados no mundo (LORO; BOTTEON; SPOTO, 2018). No Brasil é um dos principais produtos agrícolas por ter alto valor socioeconômico atribuído (PENIDO *et al.*, 2019). De acordo com o Levantamento Sistemático da Produção Agrícola feito pelo Instituto Brasileiro de Geografia Estatística, a área de produção de tomate em 2019 ultrapassou os 58 mil hectares no país, produzindo mais de 4 milhões de toneladas com rendimento médio em cerca de 70 mil quilos por hectare (IBGE – LSPA, 2020).

Assim como outros produtos hortícolas, o tomate apresenta pequenas sementes, o que dificulta a semeadura direta, devido à sua forma, tamanho e peso, além da pouca uniformidade na germinação, infestação por insetos e microrganismos, dormência, dentre outros fatores (OLIVEIRA *et al.*, 2003).

Uma alternativa para facilitar a semeadura direta de espécies com sementes desse tipo é o seu revestimento com materiais adequados, que melhorem a distribuição manual ou mecânica dessas sementes por meio da modificação do seu tamanho, forma e peso, sem interferir na germinação (LOPES; NASCIMENTO, 2012).

O revestimento de sementes é uma técnica de cobertura com agentes adesivos, que contribui tanto para o melhor desempenho das sementes e desenvolvimento das plantas, quanto para a redução dos custos de produção. Esta técnica tem sido amplamente utilizada na agricultura como meio para aliviar estresses bióticos e abióticos, melhorando assim o crescimento, o rendimento e a saúde das culturas. A técnica de revestimento de sementes é confiável para aplicação de materiais exógenos em proximidade com a semente durante a germinação, como biopolímeros, corantes e agentes de biocontrole (MA, 2019).

Atuando como um tratamento de sementes antes do plantio, o revestimento de sementes vem sendo aplicado para diversos tipos de cultivo no mundo. Estudos relatam que o revestimento de sementes contribui com a tolerância a estresses da planta na fase de germinação e promove o crescimento de plântulas mesmo em condições de frio e estresse salino (REN *et al.*, 2019).

Segundo Pedrini *et al.* (2017), os tipos de revestimentos podem ser classificados de acordo com as propriedades que as sementes revestidas adquirem. As duas técnicas mais usadas para dispor materiais inertes às sementes são a

peletização (*seed pellet*), uso de revestimentos na forma de péletes, e a peliculização (*film coating*), uso de filmes finos sobre as sementes (MELO *et al.*, 2015). Sendo a peletização um método de revestimento que tem como objetivo o favorecimento do plantio por modificar o formato, tamanho e peso das sementes. Essa técnica torna o cultivo de sementes muito pequenas ou de formatos irregulares, como é o caso das sementes do tomate, mais fácil e preciso (MA, 2019).

Adicionalmente, os péletes podem ser empregados para a veiculação de fungicidas, inseticidas, nutrientes e reguladores de crescimento. No entanto, é necessário entender, primeiramente, a dinâmica e interação da matriz polimérica empregada com as sementes, pois o revestimento pode atuar como uma barreira para a difusão do oxigênio e da água, o que pode reduzir a germinação das sementes e emergência das plântulas (MELO *et al.*, 2015).

Diferentes biopolímeros vem sendo utilizados para o desenvolvimento de revestimentos de sementes em substituição aos polímeros sintéticos, devido as suas propriedades que garantem menor impacto ambiental e produção de resíduos não tóxicos após sua biodegradação no solo (CONCEIÇÃO; VIEIRA, 2008; TANADA-PALMU *et al.*, 2005; VERCELHEZE *et al.*, 2019; ZIANI; URSÚA; MATÉ, 2010).

Considerando a influência significativa dos componentes ativos, método e proporção de revestimento, na efetividade do revestimento, o desenvolvimento de revestimentos de sementes que sejam efetivos, seguros e ambientalmente amigáveis configura-se na atualidade como um tópico de interesse crescente para os pesquisadores, em especial, considerando-se uma abordagem baseada no conceito de agricultura sustentável (REN *et al.*, 2019).

2 OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Desenvolver e caracterizar um revestimento biodegradável de baixo custo à base de amido, gelatina e fibras vegetais para peletização de sementes de tomate.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desenvolver revestimento biodegradável para peletizar sementes de tomate, empregando amido de mandioca, gelatina e casca de aveia;
- Caracterizar os péletes produzidos quanto às suas propriedades físico-químicas, morfologia e propriedades térmicas;
- Avaliar o comportamento agronômico de sementes de tomate com e sem revestimentos por meio de testes de germinação.

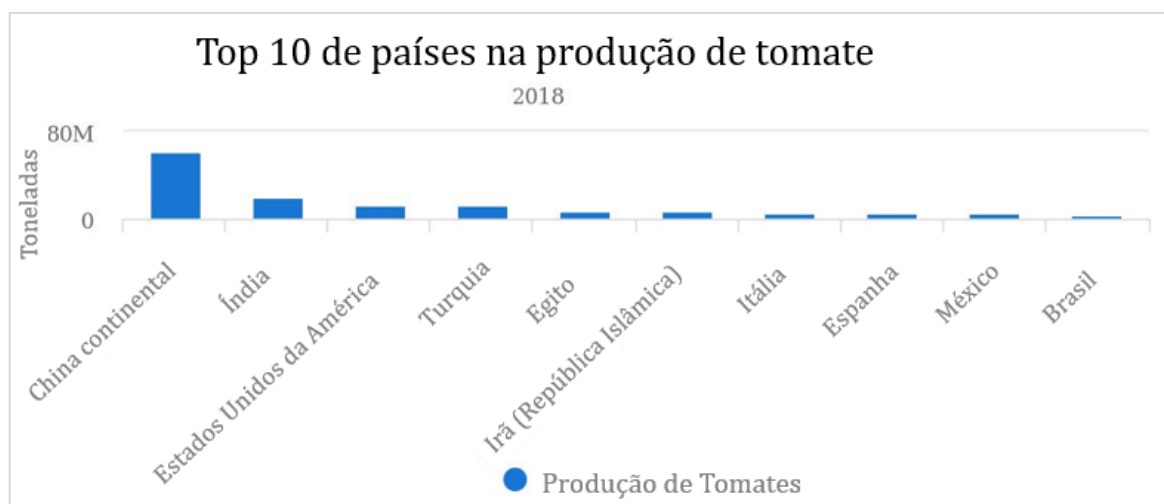
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. A CULTURA DO TOMATE

O tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.) é descrito como uma planta herbácea, autógama e perene, mas cultivada como uma cultura anual, caracterizado por uma ampla variabilidade fenotípica, com frutos de vários tamanhos, formatos e coloração. Conforme grupo e cultivar, apresenta superfície lisa ou canelada, com dimensões arredondadas, alongadas ou elípticas. Formado internamente por dois a dez lóculos, contendo sementes pequenas e pilosas, protegidas pela mucilagem placentária. O tomateiro pertence à família Solanaceae, é originário da América do Sul, sendo considerado uma das hortícolas de maior importância econômica em escala mundial. Responsável por uma grande variedade de produtos e subprodutos, utilizados na forma *in natura* ou processados na indústria alimentícia e farmacêutica (SPREY; FERREIRA, 2017).

O tomate é um fruto de grande importância comercial, considerado um dos produtos mais cultivados no mundo (LORO; BOTTEON; SPOTO, 2018). De acordo com a base de dados FAOSTAT, da agência norte-americana *Food and Agriculture Organization* (FAO), a produção mundial de tomates em 2018 ultrapassou os 182 milhões de toneladas, sendo China, Índia, Estados Unidos, Turquia, Egito, Irã, Itália, Espanha, México e Brasil os dez maiores produtores do mundo, como pode ser observado na Figura 1.

Figura 1 – Maiores produtores mundiais de tomate



Fonte: FAOSTAT (2020)

O consumo de tomate é recomendado graças a sua rica composição nutricional, que consiste em vitaminas, minerais, antioxidantes, flavonoides, ácido ascórbico e carotenoides como licopeno, dentre outros nutrientes. Assim, o tomate pode ser considerado um alimento funcional com atividade na redução do risco de certos tipos de câncer, como por exemplo, o de próstata (GEORGE *et al.*, 2004; LORO; BOTTEON; SPOTO, 2018).

No Brasil, o tomate é uma das principais culturas devido ao seu alto valor socioeconômico agregado (PENIDO *et al.*, 2019). De acordo com dados da safra de tomate no Brasil em 2019 a produção ultrapassou os 4 milhões de toneladas, ocupando mais de 58 mil hectares, apresentando rendimento médio de mais de 70 mil quilos por hectare (IBGE-LSPA, 2020).

Porém, assim como outros produtos hortícolas, o tomate apresenta sementes pequenas, o que dificulta a semeadura direta devido à sua forma, tamanho e peso, pouca uniformidade na germinação, infestação por insetos e microrganismos, dormência, entre outros fatores (OLIVEIRA *et al.*, 2003).

Além disso, a deterioração de sementes é inexorável, sendo o desempenho de sementes armazenadas sempre pior do que de sementes frescas (JACOB *et al.*, 2016). E o tomate, assim como outros cultivos, está sujeito a diversas doenças e pestes danosas como insetos, bactérias, fungos etc. O cultivo do tomate em larga escala envolve aplicação de agrotóxicos sobre a planta para impedir a ação direta ou indireta de formas de vida animal ou vegetal, visando maior produtividade e qualidade do fruto. Esses produtos podem afetar a saúde dos trabalhadores envolvidos na atividade caso sejam usados incorretamente (PENIDO *et al.*, 2019).

O cultivo de hortaliças requer melhorias no sistema de semeadura que lhe garanta maior êxito técnico e econômico das atividades agrícolas (SPREY; FERREIRA, 2017). Tendo em vista a melhora do desempenho de sementes após períodos de armazenamento, diversas técnicas tem sido desenvolvidas e comercializadas na indústria da semente nas últimas décadas e as mais amplamente adotadas são tecnologias de revestimento de sementes (JACOB *et al.*, 2016), que podem ser uma alternativa ambientalmente amigável para reduzir a aplicação em larga escala de agroquímicos sintéticos, se alinhando ao conceito de agricultura sustentável, que dentre outras práticas visa reduzir o impacto ambiental causado pela agricultura por meio da adoção de novas tecnologias e soluções que possam ajudar nesse processo.

3.2. AGRICULTURA DE PRECISÃO SUSTENTÁVEL

As plantas são seres produtores primários essenciais do ecossistema terrestre, portanto, é necessário entender o impacto que práticas agrícolas ou tratamentos em sementes têm sobre elas (GÁLVEZ; LÓPEZ-GALINDO; PEÑA, 2018).

As práticas agrícolas atuais, tais como aporte de fertilizantes, pesticidas e resíduos animais, afetam negativamente o ambiente uma vez que poluem o ar, solo e recursos hídricos, interferindo na diversidade biológica dos ecossistemas. Dessa maneira, existe a necessidade de desenvolver novas estratégias para uma agricultura que gere menores impactos negativos ao meio ambiente (MA, 2019).

A agricultura de precisão tem sido estabelecida como uma estratégia de gestão baseada na geração de conhecimento para otimizar a produção do ponto de vista ecológico e econômico. Busca utilização de novas tecnologias para emprego da quantidade suficiente de agroquímicos, como fertilizantes e pesticidas, a fim de assegurar produção, proteção e lucratividade da safra. Sendo as tecnologias agrícolas de precisão um conjunto de tecnologias voltadas para o manejo da variabilidade espacial e temporal. O funcionamento ideal dessas tecnologias pode potencialmente aumentar a rentabilidade, otimizar o rendimento e a qualidade, reduzir insumos e minimizar impactos ambientais causados pelas práticas agrícolas (BARNES *et al.*, 2019; MA, 2019).

A produção de alimentos no mundo deve aumentar entre 70 a 100% para suprir a população em 2050. Porém, o aumento do território agrícola é limitado por aspectos geográficos e ecológicos. O desafio é conseguir produzir alimentos de qualidade na quantidade suficiente sem gerar danos graves ao solo e ao ecossistema das agriculturas (VERCELHEZE *et al.*, 2019). De acordo com Barnes *et al.* (2019), levando-se em conta a limitação de terras disponíveis para a produção agrícola no futuro, diversos documentos políticos preconizam as tecnologias da agricultura de precisão como sendo fundamental para o futuro comercial da agricultura e apoiam a intensificação sustentável dos sistemas agrícolas.

Considerando as limitações de uma população em crescimento e as mudanças climáticas existe um interesse cada vez maior no desenvolvimento destas novas práticas agrícolas baseadas na agricultura de precisão, que possam reduzir o uso de agroquímicos e ao mesmo tempo garantir a produção agrícola, bom custo benefício e segurança dos alimentos (MA, 2019). Para que isso se concretize é

importante que sejam desenvolvidas novas tecnologias capazes de melhorar o desempenho da planta, protegê-las dos estresses bióticos e abióticos, que sejam seguras ao meio ambiente e que envolvam baixo custo. Neste sentido, o emprego de revestimentos em sementes pode ser uma alternativa economicamente viável.

3.3. REVESTIMENTO DE SEMENTES

Diversas técnicas têm sido exploradas para facilitar o plantio, e para melhorar o desenvolvimento de plântulas sob variadas condições ambientais. Essas técnicas, geralmente referidas como melhoramento de sementes, são empregadas antes do plantio, sendo o revestimento de sementes uma delas (AMIRKHANI *et al.*, 2016).

A técnica de revestir sementes vem sendo usada por quase um século para aumentar a produtividade dos cultivos (VERCELHEZE *et al.*, 2019). O uso de revestimentos para sementes surgiu na indústria farmacêutica e foi adaptado pelas indústrias de sementes, principalmente para potencializar o desempenho germinativo, diferenciar materiais de alto valor devido aos corantes empregados e agregar agrotóxicos como agentes de proteção (MELO *et al.*, 2015). A utilização comercial em larga escala de revestimentos de sementes para agricultura de precisão teve início na década de 60 permanecendo em constante crescimento (MA, 2019).

O revestimento de sementes é uma técnica para cobrir as sementes com material inerte que otimiza a plantação ao homogeneizar o tamanho das sementes e protegê-las de danos físicos. Considerando-se que os equipamentos agrícolas usados atualmente estão aptos para o plantio de sementes revestidas homogêneas, em tamanho e forma. O emprego dessa técnica torna possível estabelecer maior controle sobre a densidade de plantio e assim atingir, ao menos, se aproximar da agricultura de precisão (GÁLVEZ; LÓPEZ-GALINDO; PEÑA, 2018; MA, 2019).

Além disso, os revestimentos podem influenciar o microclima durante a germinação por reter água perto da semente e/ou promover oxigenação, também podem providenciar micro e macronutrientes, reguladores de crescimento, outros bioestimulantes e herbicidas, propiciar proteção fitossanitária, e sobretudo, permitir uma semeadura de precisão em cultivos com plantio direto (AMIRKHANI *et al.*, 2016; OLIVEIRA *et al.*, 2003; QIU *et al.*, 2020). Oliveira *et al.* (2003) descrevem que o

emprego de revestimentos de sementes resulta em maiores taxas de emergência da plântula, mínima utilização de mão de obra, maior precisão de semeadura, com importante papel na semeadura aérea por melhorar projeção balística, melhoria da semeadura de precisão em cultivos com plantio direto, redução de custos com transplantes e desbastes e maior uniformidade na distribuição das plantas.

As duas técnicas mais usadas para dispor materiais inertes às sementes são a peliculização (*film coating*) e a peletização (*seed pellet*). Na peliculização, as sementes são revestidas por filmes plásticos finos sem ocasionar mudanças na sua forma e no tamanho, já a peletização é uma técnica de revestimento que envolve a aplicação de quantidade de material externo suficiente para modificação significativa da morfologia inicial da semente (MELO *et al.*, 2015; PEDRINI *et al.*, 2017).

O emprego da peletização tem como objetivo o favorecimento do plantio justamente por modificar o formato, tamanho e peso das sementes. Essa técnica torna o plantio mais fácil e preciso para cultivos de sementes muito pequenas ou com formatos irregulares, como por exemplo no caso de algumas sementes de hortaliças, essas apresentam características que as tornam difíceis de serem individualizadas e distribuídas uniformemente, como superfície irregular, tamanho reduzido e desuniforme e menor peso (LOPES; NASCIMENTO, 2012; MA, 2019). Tais aspectos podem ocasionar irregularidade no espaçamento e na densidade de semeadura, impondo a utilização de grande quantidade de sementes para se obter um estande satisfatório de plantas. Essas operações exigem uma maior utilização de mão de obra, elevando o custo de produção (SPREY; FERREIRA, 2017).

Sendo assim, o revestimento de sementes é uma tecnologia promissora para o avanço da agricultura de precisão, e requer a busca por metodologias econômicas e aplicação em novos tipos de cultivo, contribuindo com melhores perspectivas e potencial dessa tecnologia (MA, 2019).

3.3.1. Peletização de Sementes

A peletização de sementes surgiu para minimizar a perda de sementes e melhorar a eficiência da semeadura. Trata-se do revestimento de sementes com material seco e rígido visando alteração de forma e tamanho, superfície sem aspereza e sem deformações, culminando na melhoria da distribuição manual ou

mecânica das sementes e rapidez e eficiência de semeadura (LOPES; NASCIMENTO, 2012; MELO *et al.*, 2015). De acordo com o documento de peletização em sementes de hortaliças da Embrapa, essa técnica é recomendada para sementes que apresentam dificuldades de distribuição, por serem pequenas, leves, ásperas, de formato irregular ou por conterem pelos, espinhos e aristas, tais como as de tomate, alface, cebola, cenoura, dentre outras (LOPES; NASCIMENTO, 2012).

A peletização tem como objetivo adicionar às sementes que são muito leves e irregulares um envoltório que as tornem mais pesadas e uniformes. Assim favorecendo as condições de semeadura e possibilitando plantio das sementes com a maior precisão possível (GOVINDEN-SOULANGE; LEVANTARD, 2008; SUN *et al.*, 2019). O emprego da peletização conduz a vantagens inegáveis referentes às sementes, contribui com a plantabilidade, proporciona proteção contra danos mecânicos, reduz a prática de desbaste, garante maior eficiência dos produtos fitossanitários aderidos aos péletes e favorece a visualização das sementes no solo ou substrato (SPREY; FERREIRA, 2017).

A peletização também possibilita a utilização de semeadeiras de precisão, torna o plantio por distribuição manual mais rápido e eficiente e proporciona microclima mais uniforme em volta das sementes. Além das vantagens pela modificação física, os péletes podem servir como veículo para aplicação de pequenas doses de nutrientes, inoculantes, substâncias promotoras do crescimento, fungicidas, inseticidas, dentre outros (LOPES; NASCIMENTO, 2012).

Com relação as propriedades ideais dos materiais para peletização de sementes, Lopes e Nascimento (2012) citam a importância da integridade física dos péletes, estes não devem se desmanchar ou quebrar durante o processo de classificação, transporte, manuseio ou semeadura mecanizada e, quando umedecidos após a semeadura, devem se desintegrar com facilidade, para não formarem uma barreira física que impeça a germinação da semente (LOPES; NASCIMENTO, 2012; SPREY; FERREIRA, 2017).

Pedrini *et al.* (2017) destacam que a distribuição do tamanho das partículas que constituem a formulação tem grande importância no comportamento dos péletes. Partículas muito pequenas proporcionam maior resistência física, mas dificultam a permeação de gases e água, enquanto partículas grandes favorecem a porosidade, porém reduzem a integridade física e a resiliência do revestimento. Dessa forma, faz-se necessário o estabelecimento de formulação adequada considerando a

interação entre os materiais escolhidos, granulometria e proporção (SPREY; FERREIRA, 2017).

3.3.2. Materiais Empregados no Revestimento de Sementes

As propriedades físico-químicas dos diferentes materiais combinados fornecem uma variedade de possíveis efeitos mecânicos e biológicos para os revestimentos. Os revestimentos aplicados em sementes geralmente empregam polímeros com propriedades adesivas e resultam em ganho de massa de pelo menos 2% (PEDRINI *et al.*, 2017; VERCELHEZE *et al.*, 2019).

Materiais empregados para a peletização de sementes podem ser classificados, de acordo com sua função, como adesivos (*binders*), agentes de enchimento (*fillers*) e componentes ativos. Os materiais aplicados como adesivos são polímeros com propriedades adesivas, naturais ou sintéticos, que conferem suporte estrutural, atuando como uma matriz polimérica que irá promover aderência do material na superfície da semente e retenção de componentes ativos. Enquanto os materiais aplicados para enchimento são pós de material inerte utilizados para aumentar o tamanho das sementes (PEDRINI *et al.*, 2017).

Dentre os materiais de enchimento utilizados, geralmente são relatados pós inertes, como a bentonita, carbonato de cálcio, talco, terra diatomácea, areia, pó de serra, gesso e vermiculita (PEDRINI *et al.*, 2017; LOPES; NASCIMENTO, 2012). De acordo com Ma (2019), podem ser incorporados como componentes ativos, protetores, como pesticidas; micronutrientes; estimulantes de crescimento; marcadores e microrganismos benéficos que atuam como agentes de biocontrole e biofertilizantes.

Oliveira *et al.* (2003) citam como uma prática importante a aplicação de protetores químicos para o tratamento de sementes, visando o controle e proteção contra insetos, microrganismos e roedores. Adicionalmente, segundo Pedrini *et al.* (2017) materiais hidrofílicos, como os hidrogéis, são adjuvantes comumente empregados por sua capacidade inerente de atrair e reter água próxima da semente, os autores também relatam o uso de surfactantes para aumento da disponibilidade de água para a semente. Gálvez, López-Galindo e Peña (2018) citam o uso de surfactantes como adjuvantes em revestimentos de sementes visando melhor distribuição da formulação na superfície da semente, e destacam os efeitos negativos

que alguns materiais podem ter quando em proximidade com a semente, como por exemplo, alteração da integridade de membrana e modificação da estrutura e solubilidade das proteínas de membrana.

Com relação as propriedades ideais dos polímeros empregados nas formulações de revestimento de sementes, Oliveira *et al.* (2003) citam que algumas necessidades que devem ser atendidas pelo material utilizado. O material deve permitir a penetração de oxigênio de maneira adequada, propiciar umidade adequada, e manter este conteúdo adequado durante armazenamento. Além disso, Ma (2019) destaca que o material escolhido deve aderir facilmente à semente e não interferir na germinação e formação das plântulas.

Dessa forma, a escolha da matriz polimérica é de extrema importância no desenvolvimento de formulações adequadas para aplicação em revestimentos de sementes. Polímeros biodegradáveis de fonte renovável têm sido usados em substituição aos polímeros sintéticos para aplicações na agricultura, por suas propriedades que garantem menor impacto ambiental e produção de resíduos não tóxicos após sua biodegradação no solo (KOZLOV; BURDYGINA, 1983; VERCELHEZE *et al.*, 2019). Brandelero, Almeida e Alfaro (2015) associam o uso de polímeros biodegradáveis e de fonte renovável em substituição a polímeros sintéticos como uma tendência ecológica de produção de materiais.

Vários polímeros biodegradáveis de fonte renovável têm sido relatados como materiais com grande potencial para revestimento de sementes, dentre os materiais relatados estão a gelatina, a quitosana, a goma arábica, o amido de milho, a carboximetilcelulose, a hidroxietilcelulose, o alginato de sódio. Também é descrito o uso da associação de materiais, como por exemplo, quitosana com gelatina, carboximetilcelulose com alginato de sódio, gelatina com goma-guar e associação de amido, gelatina e álcool polivinílico (CONCEIÇÃO; VIEIRA, 2008; TANADA-PALMU *et al.*, 2005; VERCELHEZE *et al.*, 2019; ZIANI; URSÚA; MATÉ, 2010).

O amido e a gelatina são exemplos de polímeros biodegradáveis de fonte renovável e de baixo custo com elevado potencial de aplicação na agricultura (VERCELHEZE *et al.*, 2019). Ambos são biopolímeros considerados não-tóxicos e não irritantes, e são listados como geralmente reconhecidos como seguros (GRAS - *Generally Recognized as Safe*) pela agência norte-americana que regula alimentos e medicamentos (FDA - *Food and Drug Administration*) (GARCIA *et al.*, 2018). Vários autores relataram a produção de filmes biodegradáveis a partir de misturas de amido

e de gelatina, obtendo materiais com melhores propriedades mecânicas do que quando polímeros puros foram empregados (AL-HASSAN; NORZIAH, 2012; FAKHOURI *et al.*, 2012; SOLIMAN; FURUTA, 2014; VERCELHEZE *et al.*, 2019). Os grupos hidroxila e amínicos da gelatina podem formar ligações de hidrogênio interagindo com grupos hidroxila de amido, levando à formação de uma matriz polimérica que pode ser direcionada para diferentes aplicações. Vale ressaltar que o emprego de matrizes poliméricas de amido e gelatina foram pouco exploradas para o desenvolvimento de revestimentos biodegradáveis para sementes.

A gelatina é uma proteína de origem animal obtida do colágeno por hidrólise ácida ou básica e produzida no Brasil em abundância a baixo custo (FAKHOURI *et al.*, 2007). É um polipeptídeo biodegradável, translúcido, incolor e solúvel, com aplicações biomédicas e de amplo uso na indústria alimentícia e farmacêutica (FAKHOURI *et al.*, 2007; LI *et al.*, 2018; RAJKUMAR *et al.*, 2017).

Essa proteína apresenta em sua estrutura grupamentos amino, carboxila e hidroxila, o que possibilita a formação de interações eletrostáticas, ligações de hidrogênio e interações hidrofóbicas entre as suas cadeias na presença de água para a formação géis termoreversíveis (LI *et al.*, 2018). A gelatina apresenta unidades de cadeias que determinam propriedades específicas e singulares, trata-se de um produto polimérico de importância individual empregado na produção de vários materiais. A presença de grupos funcionais ácidos e básicos na macromolécula favorece a sua interação com a água, e, em condições adequadas, uma estrutura helicoidal tripla se forma, sendo responsável pela formação da matriz polimérica dos géis de gelatina (KOZLOV; BURDYGINA, 1983; LI *et al.*, 2018).

O amido tem sido descrito como um dos materiais com maior potencial para produção de materiais biodegradáveis. Trata-se de um material de fonte renovável, abundante e de baixo custo, apresenta-se como grânulos semicristalinos de composição, tamanho e formato variáveis dependendo de qual a sua fonte botânica (FAKHOURI *et al.*, 2013). Trata-se de um biopolímero biodegradável que pode ser obtido naturalmente de diversas fontes (cereais, tubérculos, frutas e leguminosas) e apresenta amplo emprego em várias áreas da indústria, como alimentícia, química, farmacêutica, têxtil e outras (MANIGLIA *et al.*, 2019).

O amido é o principal carboidrato armazenado em plantas superiores e cumpre importante papel durante seu ciclo de vida. As plantas de produção agrícola armazenam grande quantidade de amido em amiloplastos presentes em

compartimentos especializados. Nos amiloplastos o amido se acumula em forma de grânulos, compostos primariamente por dois homopolímeros de glicose: amilopectina, porção ramificada, e amilose, porção linear (CUESTA-SEIJO *et al.*, 2017). A amilose é definida como uma molécula linear com ligações α -(1 \rightarrow 4) entre unidades de D-glicopiranosil, também já são conhecidas moléculas com pequenas ramificações com ligações α -(1 \rightarrow 6). Enquanto a porção de amilopectina é altamente ramificada, formada por cadeias curtas de D-glicopiranosil de ligações α -(1 \rightarrow 4) interligadas por ligações α -(1 \rightarrow 6). A estrutura granular nativa do amido é mantida por ligações de hidrogênio entre as suas hidroxilas (BULÉON *et al.*, 1998).

Para a obtenção de uma matriz polimérica de amido sua estrutura granular semicristalina precisa ser destruída para dar origem a uma matriz polimérica homogênea e amorfa, o que se dá através da gelatinização do amido. A gelatinização é a transformação irreversível do amido granular em uma pasta viscoelástica, fenômeno que acontece na presença de excesso de água e leva à destruição da cristalinidade e da ordem molecular do grânulo através do rompimento das ligações de hidrogênio que, inicialmente, mantinham a integridade deste. Após a gelatinização, as moléculas de amido podem começar a se reassociar através de ligações de hidrogênio, favorecendo a formação de uma estrutura mais ordenada, que, sob condições favoráveis, pode formar uma estrutura novamente cristalina; a este conjunto de alterações dá-se o nome de retrogradação. Dependendo das condições, podem ser obtidos géis ou filmes de amido (MALI; GROSSMANN; YAMASHITA, 2010).

3.3.2.1. Aplicação de revestimentos de sementes

Na Tabela 1 estão apresentados alguns exemplos de revestimentos de sementes descritos na literatura. Pode-se perceber, que muitas vezes a matriz polimérica empregada não está suficientemente descrita nos trabalhos, assim como os aditivos empregados, o que pode dificultar a disseminação do conhecimento na área.

Tabela 1 - Exemplos de revestimentos de sementes descritos na literatura.

Semente	Materiais empregados	Técnica	Referência
Milho	Amido, gelatina e álcool polivinílico, incorporado com bactérias promotoras do crescimento vegetal (<i>Azospirillum brasilense</i>)	Peliculização	Vercelheze <i>et al.</i> (2019)
Trigo	Poliacrilamida, carboximetilcelulose, etileno glicol, gelatina, surfactante corante e água deionizada. Veículo para fungicidas	Peliculização	Ren <i>et al.</i> (2019)
Milho	Polissacarídeo formador de filme, hidrotrópicos e dispersantes, reguladores de crescimento e corantes	Peliculização	Zeng <i>et al.</i> (2018)
Arroz	Álcool polivinílico, peróxido de cálcio, argila, talco, attapulгите e bentonita	Peletização	Mei <i>et al.</i> (2017)
Brócolis	Farinha de soja, fibra celulósica, terra diatomácea e água destilada	Peletização	Amirkhani <i>et al.</i> (2016)
Tomate	Polímero sintético comercial	Peletização	Melo <i>et al.</i> (2015)
Tomate	Acetato de polivinila, goma arábica, calcário dolomítico e fécula de mandioca	Peletização	Sprey e Ferreira (2017)
Soja	Pesticida Maxim-XL [®] , polímero Sepiret [®] , inoculante Gelfix 5 [®] , calcário dolomítico e caulinita	Peliculização	Rufino <i>et al.</i> (2017)
Milho	Ácido salicílico, rodamina B e hidrogel de poli(N-isopropilacrilamida-co-butilmetacrilato)	Peliculização	Gao <i>et al.</i> (2020)
<i>Trifolium pratense</i> L. e <i>Lolium perenne</i> L.	Farinha de soja, terra diatomácea, vermicomposto micronizado, extrato concentrado de vermicomposto e água destilada	Peliculização	Qiu <i>et al.</i> (2020)
Milho	Polímero industrial e reguladores de crescimento vegetal (benzilaminopurina, ácido naftaleno acético, brassinolide e ácido giberélico)	Peliculização	Suo <i>et al.</i> (2017)
Arroz	Mineral argiloso (attapulгите), um tipo de argila (high clay), fertilizante e água destilada	Peletização	Sun <i>et al.</i> (2019)

Fonte: o próprio autor

3.3.2.2. Aplicação da técnica de peletização de sementes

Como já citado anteriormente, existe um interesse cada vez maior no desenvolvimento de novas práticas agrícolas baseadas na agricultura de precisão, que possam reduzir o uso de agroquímicos e ao mesmo tempo garantir a produção agrícola, bom custo benefício e segurança (MA, 2019). O uso da técnica de revestimento de sementes pode ser uma alternativa para melhorar o desenvolvimento da planta e protegê-las. Alguns fatores importantes a serem considerados para a aplicação dessa técnica, além das propriedades dos materiais empregados já discutidas, são custo de produção e segurança. Sendo que a segurança deve abranger o produtor do revestimento, o agricultor, que utilizará as sementes revestidas e o meio ambiente. Dessa maneira, o emprego de materiais que sejam biodegradáveis, de fonte renovável, de baixo custo e que proporcionem as condições adequadas para o desenvolvimento das plantas são de grande interesse.

O tipo de semente que irá ser revestida também é um fator que deve ser considerado para a aplicação da técnica. Sendo a peletização indicada para facilitar e tornar mais preciso o plantio de sementes muito pequenas, como no caso das sementes de tomate (LOPES; NASCIMENTO, 2012; MA, 2019; OLIVEIRA *et al.*, 2003).

A Tabela 2 traz alguns exemplos de revestimentos para peletização de sementes que foram patenteados. Em geral, e na maioria das vezes, o que se percebe é que as matrizes e aditivos empregados não são 100% biodegradáveis e que os materiais envolvidos muitas vezes são pouco usuais, de difícil acesso. O emprego de materiais 100% biodegradáveis faz com que não haja resíduos no solo após o plantio das sementes, e se alinha ao conceito de agricultura sustentável de precisão.

Como pode ser observado, a produção de um revestimento biodegradável composto por base polimérica de amido e gelatina como material adesivo e casca de aveia como material de enchimento é inédita. Além da composição ser inovadora, a utilização da casca de aveia, que é o componente majoritário das formulações desenvolvidas nesse projeto, promove o reaproveitamento de um resíduo agroindustrial.

Tabela 2 – Revestimentos patenteados para peletização de sementes.

Semente	Materiais empregados	Referência
Diferentes tipos de sementes, em especial de plantas ornamentais	Poliacrilamida, ácido poliacrílico, amido, cera, álcool polivinílico, glicérido, glicérido parcial ou suas misturas, enchimentos, reguladores de crescimento de plantas, inseticidas, fungicidas, bactericidas, fertilizantes, microrganismos ou suas misturas.	Conrad e Howarth (2011) WO 2011/123602 A1 Conrad (2015) US 8.966.814 B2
Sementes de alfafa	Álcool polivinílico, acetato de polivinila, goma arábica, polivinilpirrolidona, lignosulfonato de cálcio, polímeros sintéticos orgânicos, zeólitas, herbicidas, pesticidas, fungicidas, e bactérias promotoras do crescimento vegetal.	Barclay (2015) US 2015/0101245 A1
Sementes de soja, canola, grão-de-bico, milho, melão, arroz e tomate	Água, plasmídeo com conteúdo genético de interesse (1 ou mais), corante, adição ou não de materiais como polissacarídeos (ex. polietilenoglicol), materiais abrasivos (ex. pó de carborundum), materiais coagulantes (ex. cloreto de ferro, hidróxido de sódio, quitosana) ou outros agentes químicos.	Lapidot <i>et al.</i> (2015) US 2015/0040268 A1
Diferentes tipos de semente de plantas (<i>Calêndula officinalis</i> , <i>Sálvia splendens</i> , <i>Glycine max</i>)	Fertilizante (fonte de nitrogênio, fósforo e potássio), regulador de crescimento de plantas (hormônio), bactericida e inseticida com sphagnum, material adesivo solúvel em água e água.	Kim e Lee (2004) WO 2004/036975 A1 Kim (2006) US 2006/0196117A1
Trevo branco	Areia, sphagnum, inóculo de micorriza, material adesivo (ex. Laponite ou metilcelulose) e inóculo de <i>Rhizobium</i> (ex. <i>Rhizobium trifolii</i>).	Warner (1985) US 4.551.165
Vegetais e flores (ex. petúnia)	Tipos de bentonita e vermiculita e água.	Burgesser (1951) US 2.579.734 A
Gramíneas	Superfosfato, carbonato de cálcio, gypsum (sulfato de cálcio), dolomita (carbonato de magnésio e carbonato de cálcio) e bentonita.	Taylor (1974) AU 475.490 B2
Trevo e Luzerna	Inóculo de <i>Rhizobium</i> , fosfato de rocha, dolomita, turfa e bentonita.	Taylor (1974) AU 475.490 B2
<i>Cynodondactylon</i> (Linn.) Pers	Bentonita, zeólito branco e carbendazim, solução de água esterilizada e deionizada com potássio, ácido bórico e zinco e corante.	Zixue <i>et al.</i> (2015) CN 103058764 B
Vegetais	“Bone glue”, água e biohumus (derivado da minhoca californiana vermelha).	Nikolaevich (2006) DE 112004000203 T5

Fonte: o próprio autor

3.3.3. Efeitos do Revestimento Sobre a Qualidade Fisiológica das Sementes

Dentre os diversos fatores importantes no sucesso de estabelecimento das culturas agrícolas está a utilização de sementes com elevada qualidade genética, fisiológica, física e sanitária. A qualidade fisiológica das sementes é caracterizada, principalmente, pela sua germinação, vigor e longevidade (FRANÇA NETO; KRZYZANOWSKI; HENNING, 2010).

O processo de germinação é afetado primariamente pela disponibilidade de água, da absorção de água resulta a reidratação dos tecidos, com a conseqüente intensificação da respiração e de todas as demais atividades metabólicas que culminam com o fornecimento de energia e de nutrientes necessários para a retomada do crescimento do eixo embrionário. O oxigênio é também fator fundamental para o processo germinativo, pois participa da degradação das substâncias de reserva da semente para o fornecimento de nutrientes e energia para o desenvolvimento do eixo embrionário (CARVALHO; NAKAGAWA, 2000).

Como a peletização atua como uma barreira física sobre a superfície da semente, dependendo da sua composição, pode retardar a absorção de água e oxigênio para o início da germinação, resultando em menor velocidade de germinação e emergência de plântulas, e uma redução do potencial germinativo das sementes (DERRÉ *et al.*, 2013; FERREIRA *et al.*, 2015). De acordo com Gorim e Asch (2012) e Vercelheze *et al.* (2019), sementes revestidas com materiais hidrofílicos podem aumentar a quantidade de água disponível para a germinação e o desenvolvimento das sementes.

Os revestimentos empregados na peletização das sementes devem, portanto, manter a embebição de água nas sementes e a permeabilidade aos gases, porém, outro fator a ser considerado é a conservação destas sementes revestidas. A conservação de sementes é intimamente dependente do seu teor de umidade, o qual tende a entrar em equilíbrio com a umidade relativa de armazenamento. Desta forma, a característica de higroscopicidade do material de recobrimento afeta diretamente o potencial de conservação da semente. Em formulações altamente higroscópicas, o revestimento pode funcionar como ponte, absorvendo a umidade do ambiente e transferindo para a semente. Por outro lado, se a semente tiver alto teor de umidade, a camada de revestimento funciona como barreira à transferência de umidade para o ambiente, dificultando as trocas gasosas, mesmo que os materiais de recobrimento

não sejam higroscópicos. Com isso, a semente revestida demora a atingir novo equilíbrio higroscópico quando é exposta em ambientes com umidades relativas diferentes (SILVA, 1997).

Sprey e Ferreira (2017) avaliaram os efeitos de diferentes materiais de revestimento na qualidade fisiológica de sementes de tomate. Dois materiais para enchimento, calcário dolomítico e fécula de mandioca, e dois polímeros cimentante, acetato de polivinila e goma arábica, concluindo que o recobrimento com calcário dolomítico, independente do material adesivo, proporcionou os melhores resultados de germinação, plântulas normais, comprimento da plântula, massa fresca e seca da plântula. Rakesh *et al.* (2017) compararam o desempenho de formulações com polímeros sintéticos (três polímeros comerciais: *Seed Polymer*, *Seed Coat* e *Fleck Lite Plus Red Polymer*) e biopolímeros (um biopolímero comercial: *Biopolymer* e um biopolímero natural: quitosana) para revestimento de sementes de mamona e amendoim e verificaram a superioridade da quitosana, um biopolímero natural.

Outros autores também relataram mais recentemente algumas vantagens do uso de sementes revestidas. Melo *et al.* (2015) ao revestir sementes de tomate relataram que o potencial fisiológico não foi alterado e destacaram a influência da cultivar escolhida e do volume de produto empregado. Amirkhani *et al.* (2016) propuseram uso de revestimento para sementes de brócolis empregando farinha de soja como bioestimulante e verificaram melhora no desenvolvimento das plantas e na captação de nitrogênio. Mei *et al.* (2017) analisaram a peletização de sementes de arroz empregando peróxido de cálcio e relataram melhora na germinação e formação de plântulas.

Zeng *et al.* (2018) avaliaram o revestimento de sementes de milho com material polimérico e citaram como efeitos a prevenção de doenças, desinsetização e aumento de rendimento de produção. Ren *et al.* (2019) propuseram formulação de revestimento para sementes de trigo, empregando biopolímeros, para veiculação de pesticidas menos danosos ao ambiente. Qiu *et al.* (2020) investigaram o uso de farinha de soja, terra diatomácea e vermicomposto como revestimento bioestimulante para sementes de trevo vermelho e azevém perene. Os autores perceberam comportamentos distintos entre os tipos de cultivo, sendo o revestimento testado muito benéfico para o trevo vermelho.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1. MATERIAL

Para a produção das matrizes poliméricas empregadas como revestimento em sementes de tomate foram utilizados amido de mandioca da marca Yoki Alimentos S.A. (Paranavaí - PR) e gelatina da marca Royal (Mondelez Brasil LTDA. Curitiba - PR). As sementes empregadas no estudo foram de tomate híbrido Santa Cruz Bravo, da marca G10 Sementes (Goiás, Brasil). Foram empregados fosfato de rocha, tampão fosfato-salino - PBS (preparado em laboratório), casca de aveia (doada pela indústria SL Alimentos, Mauá da Serra – PR) moída e com granulometria padronizada entre 48 e 80 mesh, glicerol da marca Quimidrol (Joinville – SC, Brasil) e óleo de neem da marca Now Solutions (NOW Foods Bloomingdale, IL 60108 - EUA).

4.2. MÉTODOS

4.2.1. Produção dos Revestimentos

Os revestimentos para as sementes foram produzidos a partir da mistura de dois biopolímeros, amido de mandioca e gelatina em diferentes proporções, conforme descrito na Tabela 3.

Inicialmente foram preparadas matrizes poliméricas a partir do preparo de soluções filmogênicas (3% m/v) de amido e gelatina conforme proporções descritas na Tabela 3. A gelatina foi hidratada em água destilada à temperatura ambiente por 1 hora e após esse tempo foi solubilizada à 45/50 °C por aproximadamente 10 minutos, até liquefazer. O amido de mandioca foi aquecido à 90 °C por 10 minutos. Por fim, gelatina e amido foram misturados, com agitação contínua em banho-maria (Marconi - MA 127, Brasil) à 45/50 °C por aproximadamente 10 minutos, até obtenção de uma mistura homogênea.

Numa segunda etapa, outros componentes que foram empregados em quantidade fixa foram incorporados às soluções filmogênicas preparadas (g/100 mL de solução filmogênica): fosfato de rocha (4 g), tampão PBS (8,2 mL), casca de aveia (15 g), glicerol (1 g) e óleo de neem (10 gotas).

Tabela 3 - Proporção de amido e gelatina empregada nos revestimentos.

Formulação	Nomenclatura	Amido	Gelatina
1	A100	100%	0%
2	G100	0%	100%
3	A75G25	75%	25%
4	A25G75	25%	75%
5	A33G67	33%	67%
6	A67G33	67%	33%
7	A50G50	50%	50%

As misturas obtidas foram então aplicadas em moldes de silicone, e em seguida, as sementes foram adicionadas aos moldes manualmente, de maneira que ficassem posicionadas no meio do sulco do molde, encobertas pelas formulações. O material foi seco em estufa a 30 °C com circulação de ar (Marconi - MA 035, Brasil) por 24 horas, obtendo-se sementes peletizadas de formato arredondado com cerca de 8 mm de diâmetro. As sementes peletizadas foram mantidas sob umidade relativa (UR) de 58–60% em estufa incubadora tipo B.O.D (Marconi - MA 415, Brasil) contendo solução saturada de brometo de sódio à 25 °C por pelo menos 48 horas antes de serem caracterizadas.

4.2.2. Caracterização dos Revestimentos

4.2.2.1. Rendimento de produção

O rendimento de produção, em porcentagem, foi calculado a partir da relação entre o número de sementes peletizadas inteiras e total de sementes peletizadas produzidas, sendo que o molde possibilita a produção de 382 péletes (100%) por batelada. Foram desconsiderados os péletes que não se apresentaram inteiros, com a parte superior ou inferior defeituosa ou ainda furos em sua estrutura (Figura 3).

4.2.2.2. Densidade e distribuição de massa das sementes

A densidade das sementes foi determinada através do cálculo da relação peso/volume com método adaptado de Silva e Marcos Filho (1982), onde as sementes de tomate com e sem revestimento foram pesadas com auxílio de uma proveta de 10 mL em balança analítica (Shimadzu - AX220, Japão). A análise de

densidade consistiu na medida direta da massa das sementes, dividida pelo seu volume, obtendo o resultado em g/cm^3 . Os testes foram realizados em quintuplicata.

Para a análise de distribuição de massa foram pesadas individualmente 100 sementes de tomate com e sem revestimentos em balança analítica (Shimadzu - AX220, Japão), permitindo a análise da distribuição de massa.

4.2.2.3. pH e umidade

Para a determinação do pH das sementes revestidas, amostras (1,0 g) dos péletes de cada formulação foram dissolvidas em 9 mL de água destilada e mantidas em repouso por 1 hora sob temperatura ambiente. O pH foi determinado com potenciômetro (Digimed DM20, Brasil) sob temperatura ambiente em triplicata. A umidade foi determinada para cada formulação por secagem em estufa de circulação de ar (Marconi - MA 035, Brasil) à 105 °C até peso constante.

4.2.2.4. Solubilidade

Amostras dos péletes (0,5 g) foram mergulhadas em Erlenmeyer de 100 mL contendo 80 mL de água destilada e agitadas lentamente por 4 e 24 horas a 25 °C em incubadora orbital. Após este período, as amostras foram removidas por filtração e secas em estufa com circulação de ar (Marconi - MA 035, Brasil) a 60 °C por 24 horas para determinar a massa do material que não foi solubilizado (peso final). A solubilidade está expressa em porcentagem de material seco solubilizado. As análises foram realizadas em triplicata.

4.2.2.5. Capacidade de absorção de água

A capacidade de absorção de água das amostras foi determinada conforme norma ABNT NBR NM ISO 535 (1999) adaptada para o tipo de amostra em questão. Amostras dos péletes (0,5 g) foram pesadas e submersas em 100 mL de água destilada, sob temperatura ambiente. Os corpos de prova foram colocados em contato com a água por diferentes tempos (1, 5, 10, 15, 20, 25 e 30 minutos), depois o excesso de água foi retirado com papel toalha e as mesmas foram pesadas para avaliação do incremento da massa. Os ensaios foram realizados em triplicata.

4.2.2.6. Isotermas de sorção de água

Pesa-filtros de alumínio foram previamente pesados e tarados. Amostras (0,5 g) de cada formulação em triplicata foram adicionadas aos pesa-filtros, estes foram colocados em dessecador a 25 °C contendo cloreto de cálcio (CaCl₂) anidro, para obtenção da condição de 0% de umidade relativa (UR), por 7 dias. Após esse período, os pesa-filtros foram secos em estufa com circulação de ar (Marconi - MA 035, Brasil) a 80 °C por 1 hora, resfriados em dessecador e pesados para obtenção da massa das amostras secas. Os pesa-filtros contendo as amostras foram submetidos a diferentes condições de UR em dessecadores, a 25 °C, previamente equipados com soluções salinas saturadas respectivas a uma UR específica (cloreto de magnésio (MgCl₂) 38% UR; carbonato de potássio (K₂CO₃) 46% UR; brometo de sódio (NaBr) 60% UR; cloreto de sódio (NaCl) 75% UR e cloreto de bário (BaCl₂) 90% UR) (MALI *et al.*, 2005). O teor de umidade de equilíbrio de cada amostra foi calculado considerando o incremento de massa das amostras para cada UR após 7 dias. O teor de umidade de equilíbrio de cada amostra foi plotado em função da umidade relativa, e os dados experimentais foram ajustados de acordo com o modelo de Guggenheim-Anderson-de Boer (GAB) (BIZOT, 1984), determinado por regressão não linear por meio do software Statistica 7.0 (Statsoft, Oklahoma, EUA). O modelo de isotermas de GAB pode ser expresso como: $M = m_0CKa_w / (1 - Ka_w) (1 - Ka_w + CKa_w)$, onde M é o teor de umidade de equilíbrio para uma determinada atividade de água ($a_w = UR / 100$), m_0 corresponde ao valor de monocamada (g água / g sólidos), C e K são constantes de GAB relacionadas com as interações energéticas entre as moléculas da monocamada e as subsequentes, em um dado sítio de sorção.

4.2.2.7. Cinética de sorção de água

Pesa-filtros de alumínio foram previamente pesados e tarados. Amostras (0,5 g) de cada formulação em triplicata foram adicionadas aos pesa-filtros, estes foram colocados em dessecador a 25 °C contendo cloreto de cálcio (CaCl₂) anidro, para obtenção da condição de 0% de umidade relativa (UR), por 7 dias. Os pesa-filtros contendo as amostras foram secos em estufa com circulação de ar (Marconi - MA 035, Brasil) a 80 °C por 1 hora e mantidos em dessecador até resfriarem para determinação do peso seco das amostras. Após, foram acondicionados em

dessecadores equipados com soluções salinas saturadas de cloreto de magnésio ($MgCl_2$), brometo de sódio ($NaBr$) e cloreto de bário ($BaCl_2$), assim as amostras permaneceram sob três condições diferentes de UR, 38%, 60% e 90% respectivamente (MALI *et al.*, 2005). As amostras foram pesadas em intervalos de tempo até obtenção de peso constante (todas as amostras foram pesadas de 2 em 2 horas no primeiro dia e 4 em 4 horas no segundo dia, as amostras mantidas em 38% e 60% de UR tiveram seus pesos determinados no terceiro e quarto dia de análise. As amostras mantidas em 90% no terceiro dia foram pesadas de 6 em 6 horas e tiveram seus pesos determinados também no quarto, quinto, sexto e sétimo dia de análise). Os dados obtidos foram ajustados de acordo com modelo matemático e método de estimativa sugeridos por Peleg (1988): $M_{(t)} = M_0 + (t / (k_1 + k_2t))$, onde $M_{(t)}$ é a umidade das amostras em função do tempo, M_0 é o conteúdo de umidade inicial, k_1 é a constante de velocidade de Peleg (h / (g água / g sólidos)) e k_2 é a constante de capacidade de Peleg (g água / g sólidos).

4.2.2.8. Espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier

Para análise de espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR) foi utilizado o método de leitura da amostra em pastilha de brometo de potássio (KBr). A pastilha obtida foi analisada em espectrofotômetro modelo IR PRESTIGE-21 (Shimadzu, Japão) com resolução espectral 4 cm^{-1} abrangendo a região do espectro de 400 a 4.000 cm^{-1} .

4.2.2.9. Calorimetria exploratória diferencial

A análise de calorimetria exploratória diferencial (DSC) foi realizada em calorímetro DSC 60 (Shimadzu, Japão) com taxa de aquecimento de 6 °C min^{-1} em atmosfera inerte (atmosfera de nitrogênio). Para essa análise as amostras foram previamente trituradas e cerca de 2,8 mg de amostra foi transferida para recipientes padrão de alumínio. O experimento foi conduzido com variação de temperatura de 28 °C a 400 °C para todas as amostras.

4.2.2.10. Microscopia eletrônica de varredura

A análise da morfologia dos péletes foi realizada com a técnica de microscopia eletrônica de varredura (MEV). As imagens foram obtidas através de um microscópio eletrônico de varredura FEI Quanta 200 (EUA). Foram visualizadas as superfícies e fraturas dos péletes, que foram recobertos com uma fina camada de ouro. Para obter a fratura das amostras, estas foram imersas em nitrogênio líquido para evitar deformação. As imagens foram realizadas empregando-se uma voltagem de aceleração de 20 kV.

4.2.2.11. Germinação

Para avaliar a qualidade fisiológica das sementes foi realizado um teste de germinação comparando sementes peletizadas e sementes não-peletizadas de acordo com Brasil (2009) e Barros *et al.* (2002) com modificações. Quatro sub amostras de 50 sementes cada foram semeadas em bandejas descartáveis com substrato comercial. As sementes foram plantadas em células com profundidade de 5 cm. As bandejas foram mantidas em casa de vegetação por 14 dias com irrigação diária, para assim garantir um nível adequado de umidade durante a germinação. A avaliação do desenvolvimento e contagem de plântulas normais foi realizado no 14º dia após semeadura. Os resultados foram expressos em porcentagem de germinação.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

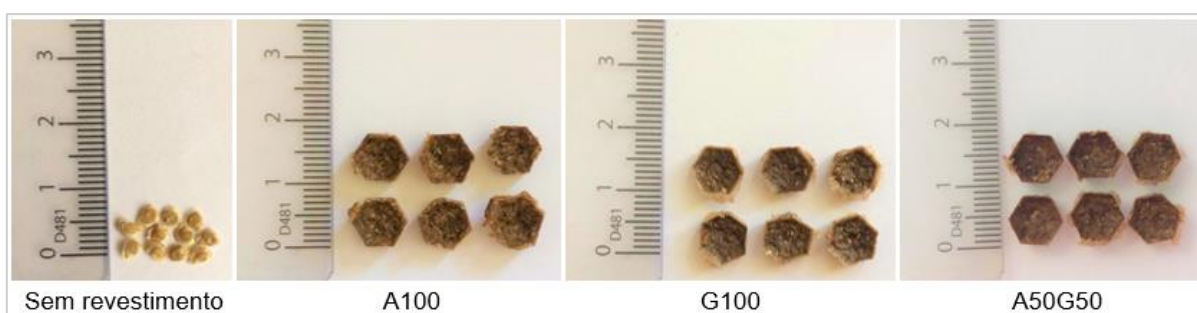
5.1. ANÁLISE QUALITATIVA E RENDIMENTO DE PRODUÇÃO

De maneira geral, as formulações ao serem preparadas, apresentaram-se como uma pasta viscosa, fácil de trabalhar e transferir para os moldes, permitindo boa cobertura das sementes, a exemplo da formulação produzida com 50% de amido e 50% de gelatina (A50G50) que resultou em uma pasta fácil de manusear e preencher os moldes para a cobertura das sementes.

Durante o preparo foi possível perceber algumas diferenças de comportamento entre as formulações com maior proporção de gelatina e maior proporção de amido. Maiores conteúdos de gelatina conferiram matrizes com maior viscosidade durante o preparo, foram secas mais facilmente nos moldes e após secagem não se desintegraram. Sendo que a formulação feita somente empregando gelatina como polímero, G100, resultou em péletes compactados, menores e mais rígidos. Enquanto as formulações com maiores conteúdos de amido apresentaram menor viscosidade durante o preparo e após a secagem resultaram em péletes mais quebradiços. Notou-se que quanto maior a proporção de amido, mais quebradiços ficavam os péletes.

Na Figura 2 é possível visualizar as diferenças entre as sementes sem revestimento e revestidas com a formulação A100, produzida empregando somente o amido como polímero, G100, produzida empregando somente gelatina como polímero e a A50G50.

Figura 2 – Sementes sem revestimento e péletes produzidos



A Tabela 4 traz o rendimento de produção das sementes peletizadas em porcentagem. De maneira geral, o método de peletização desenvolvido

apresentou um bom rendimento de produção, os resultados evidenciam que a formulação A100, que produziu péletes muito quebradiços e que se desintegravam facilmente ao serem manuseados, teve o menor rendimento entre as formulações (65,71%). Enquanto a formulação A50G50, produzida com a associação dos polímeros em proporção 1:1, foi a que apresentou o maior rendimento de produção (99,0%) (Tabela 4).

Tabela 4 - Rendimento de produção dos revestimentos secos.

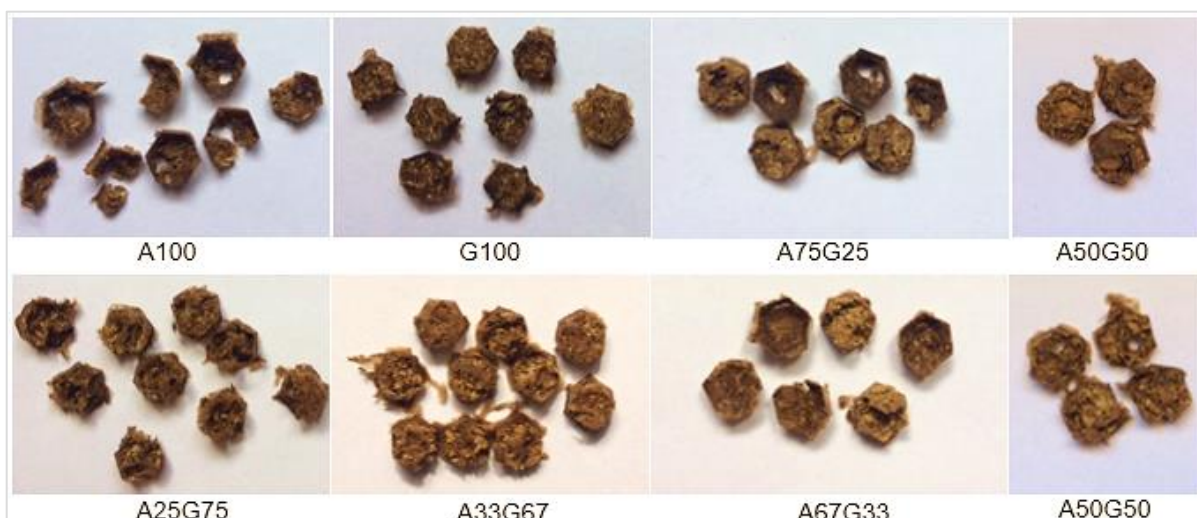
Formulação	Péletes inteiros (%)
A100	65,71
G100	98,17
A75G25	91,10
A25G75	69,10
A33G67	75,91
A67G33	98,43
A50G50	99,00

Para o rendimento de produção das formulações foram contabilizados os péletes inteiros. Foram considerados unidades parciais os péletes que apresentaram problemas estruturais como, cobertura da semente deficiente, furos, formato defeituoso ou partes superior/inferior defeituosas.

As formulações A67G33 e G100 embora tenham apresentado elevado rendimento de produção, 98,43% e 98,17% respectivamente (Tabela 4), resultaram em péletes com defeitos mais acentuados do que os vistos nos péletes produzidos com a formulação A50G50. A formulação A67G33 embora menos quebradiça, ainda apresentava essa característica provocada por seu maior conteúdo de amido. E assim como já havia sido destacado na análise qualitativa e na Figura 2, os péletes produzidos com a formulação G100 resultou em péletes menores e mais endurecidos quando comparados com às outras formulações.

Na Figura 3 é possível visualizar exemplos dos defeitos encontrados. As formulações A100, A25G75 e A33G67 que apresentaram os rendimentos mais baixos, 65,71% 69,10% e 75,91 % respectivamente (Tabela 4), apresentaram defeitos acentuados no formato e na parte inferior dos péletes.

Figura 3 - Exemplos de defeitos encontrados em péletes parciais



As características dos péletes obtidos a partir das diferentes formulações sugerem que os conteúdos de amido e gelatina incorporados nas formulações resultaram em pastas com viscosidades e matrizes poliméricas diferentes ao secar, o que levou a péletes com características de manuseio distintas.

Al-Hassan e Norziah (2012) relatam que a variação na proporção de amido e gelatina pode modificar a rigidez e flexibilidade dos materiais finais e filmes produzidos com maior proporção de amido apresentaram-se mais quebradiços. Soliman e Furuta (2014) verificaram diversas proporções de amido e gelatina para obtenção de filmes e observaram que a melhor combinação de morfologia e propriedades mecânicas foi obtida ao misturar-se amido e gelatina na proporção 1:1, o que foi atribuído à interação entre o amido e a gelatina, grupamentos hidroxila presentes no amido podem se ligar a grupamentos carboxila, amino, e/ou hidroxila da estrutura da gelatina por meio de ligações de hidrogênio.

5.2. DENSIDADE E DISTRIBUIÇÃO DE MASSA DAS SEMENTES

Os resultados de densidade e distribuição de massa das sementes revestidas e não revestidas estão apresentados na Tabela 5.

Considerando os resultados obtidos, foi possível perceber grande diferença de densidade e massa média entre as sementes com e sem revestimento, indicando que a técnica de peletização empregada resultou em decréscimo significativo da densidade e acréscimo significativo da massa média das sementes. Enquanto as sementes revestidas apresentam densidades variando de 0,1574 a

0,2559 g/cm³ as sementes sem revestimento apresentaram densidade de 0,3778 g/cm³ (Tabela 5). E enquanto as sementes revestidas apresentaram massa média variando de 0,0610 a 0,0776 g, as sementes sem revestimento apresentaram massa média de 0,0028 g (Tabela 5).

Tabela 5 - Densidade e massa média das sementes com e sem revestimento.

Formulação	Densidade (g / cm³)	Massa média (g)
Sementes sem revestimento	0,3778 ^a	0,0028 ± 0,0010 ^c
A100	0,1696 ^{cd}	0,0610 ± 0,0028 ^b
G100	0,2559 ^b	0,0760 ± 0,0030 ^a
A75G25	0,1574 ^d	0,0695 ± 0,0029 ^a
A25G75	0,1743 ^{cd}	0,0736 ± 0,0031 ^a
A33G67	0,1788 ^c	0,0776 ± 0,0041 ^a
A67G33	0,1802 ^c	0,0749 ± 0,0027 ^a
A50G50	0,1798 ^c	0,0739 ± 0,0025 ^a

Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre as médias (teste de Tukey).

De acordo com Govinden-Soulangue e Levantard (2008), a peletização de sementes resulta em sementes com diversos formatos, menor densidade e a semente por estar envolta por uma camada de revestimento torna-se mais pesada. E Sharma *et al.* (2015) relatam que a peletização tem como principal intuito o aumento do tamanho aparente e peso das sementes, e também a modificação do formato para contribuir com a precisão de plantio.

Os resultados da análise de densidade mostraram pouca diferença entre as sementes peletizadas, sendo que a maioria não apresentou diferença significativa (Tabela 5). O que pode ser destacado é que os péletes produzidos com a formulação G100, produzida empregando somente gelatina como polímero, apresentaram maior densidade (0,2559 g/cm³) do que os péletes produzidos com as outras formulações, com diferença significativa. O comportamento observado em relação a massa média também indicou pouca diferença entre as formulações. A maioria dos valores de massa média não apresentou diferença significativa, com exceção da formulação A100, produzida empregando somente amido como polímero, que apresentou o menor valor de massa média (0,0610 g) (Tabela 5).

De acordo com Peske e Novembre (2011), a peletização resulta em acréscimo no peso das sementes e os materiais empregados para revesti-las são determinantes para essa propriedade física. Os resultados obtidos nas análises de

densidade e massa média provavelmente tem relação com a diferença de capacidade de retenção de água do amido e da gelatina. A diferença de massa observada pode ser atribuída ao tipo e proporção de polímero utilizado. O amido proporcionando menor retenção de água em relação à gelatina resulta em péletes com menor peso final, enquanto a presença de gelatina favorecendo a retenção de água eleva a densidade das sementes peletizadas. Segundo Fakhouri *et al.* (2012), a estrutura química da gelatina não permite a formação de matrizes organizadas como as do amido, o que culmina em matrizes menos organizadas com maior capacidade de absorção de água. Dessa forma, a rede polimérica formada somente com gelatina proporcionou uma pasta mais viscosa com menor perda de água durante a secagem resultando em péletes menores e mais endurecidos, assim como descrito na análise qualitativa.

5.3. PH E UMIDADE

Os resultados da análise de pH e umidade das diferentes formulações estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Análise de pH e umidade das formulações produzidas.

Formulação	pH	Umidade (%)
A100	6,55 ± 0,03 ^a	7,68 ± 0,08 ^b
G100	6,09 ± 0,02 ^d	9,08 ± 0,10 ^a
A75G25	6,24 ± 0,04 ^b	7,86 ± 0,23 ^{ab}
A25G75	6,13 ± 0,01 ^{cd}	9,14 ± 0,14 ^a
A33G67	6,16 ± 0,01 ^c	8,77 ± 0,57 ^a
A67G33	6,16 ± 0,01 ^c	8,03 ± 0,21 ^a
A50G50	6,17 ± 0,03 ^c	8,43 ± 0,30 ^a

Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre as médias (teste de Tukey).

A partir da análise de pH foi constatado que as formulações apresentam, independentemente de suas diferentes composições, valores de pH muito próximos entre si e próximos da neutralidade, o que é uma característica interessante para os materiais produzidos, uma vez que podem servir como matriz polimérica para a imobilização de nutrientes e/ou microrganismos em etapas futuras. A variação encontrada foi de 6,09 a 6,55 (Tabela 6), sendo essa diferença entre a formulação G100 e A100, feitas somente empregando gelatina como polímero e

somente amido, respectivamente. Dentre as formulações compostas pela associação dos polímeros amido e gelatina (A75G25, A25G75, A33G67, A67G33 e A50G50) os valores de pH oscilaram de 6,11 a 6,25, o que indica maior homogeneidade no pH do que entre as formulações com um só tipo de polímero.

Esses resultados são condizentes com os encontrados por Vercelheze *et al.* (2019) que relataram valores de pH entre 5,5 e 6,1 para revestimentos de sementes de milho feitos com amido, gelatina e álcool polivinílico. Fatores como pH têm sido considerados influentes na germinação e desenvolvimento de plântulas, importantes estágios no ciclo de vida das plantas, e que podem ser determinantes para o estabelecimento da planta (GÁLVEZ; LÓPEZ-GALINDO; PEÑA, 2018). Valores de pH para o desenvolvimento de tomateiros relatados indicam a faixa entre 6,1 - 6,4 como sendo adequada, enquanto valores extremos podem ser prejudiciais para a germinação das sementes e o desenvolvimento de plântulas por desequilibrar absorção de certos nutrientes (ADEKIYA; AGBEDE, 2009; EWULO; OJENIYI; AKANNI, 2008).

O teor de umidade das sementes de tomate peletizadas variou de 7,68 a 9,08%. Exceto para a formulação A100, que apresentou a menor umidade (7,68%), os valores das outras amostras não tiveram diferença significativa (Tabela 6). Esses resultados são muito satisfatórios, pois com esse teor de umidade as sementes peletizadas são estáveis para transporte e armazenamento. O teor de umidade é considerado um dos fatores mais importantes quando se considera a manutenção da viabilidade das sementes durante o armazenamento; de maneira geral se a umidade aumenta, a qualidade e vigor das sementes é reduzido. Altos teores de umidade ($\geq 13\%$) resultam em crescimento de fungos, enquanto valores muito baixos ($< 4\%$) podem levar a extrema desidratação das sementes; portanto, valores entre 5 e 13% são geralmente tidos como seguros para o armazenamento da maioria das sementes (FAO, 2018). É importante destacar que as sementes peletizadas foram armazenadas em UR de 58–60% a 25 °C por 48 horas antes de serem caracterizadas; portanto, esses teores de umidade (Tabela 6) correspondem as sementes peletizadas nesta condição. A variação no teor de umidade em função da UR é discutida adiante nos resultados de isotermas de sorção de água.

5.4. SOLUBILIDADE

Os resultados obtidos por meio do teste de solubilidade estão expressos como peso seco solubilizado apresentados na Tabela 7. Os valores calculados representam a quantidade de massa solubilizada após a imersão em água destilada e agitação de 4 horas e 24 horas das diferentes formulações.

Considerando os resultados demonstrados na Tabela 7, observou-se que todas as amostras quando submetidas ao maior tempo de ensaio (24 horas) apresentaram valores de solubilidade significativamente maiores do que quando submetidas a 4 horas, no entanto, os incrementos de solubilidade não foram elevados, e variaram entre 7,5 e 14,3%.

Tabela 7 - Resultados da análise de solubilidade das formulações produzidas.

Formulação	Solubilidade 4 horas (%)	Solubilidade 24 horas (%)
A100	35,3 ± 0,029 ^a	42,8 ± 0,006 ^a
G100	20,1 ± 0,004 ^c	34,4 ± 0,002 ^d
A75G25	30,4 ± 0,006 ^{ab}	38,7 ± 0,007 ^{abc}
A25G75	24,0 ± 0,002 ^{bc}	34,0 ± 0,005 ^d
A33G67	23,9 ± 0,009 ^{bc}	35,2 ± 0,004 ^{cd}
A67G33	28,5 ± 0,004 ^{ab}	40,3 ± 0,025 ^{ab}
A50G50	26,1 ± 0,005 ^{bc}	36,8 ± 0,007 ^{bcd}

Letras minúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre as médias (teste de Tukey).

As amostras das formulações submetidas a agitação por 4 horas apresentaram de 20,1 a 35,4% de massa solubilizada, e após agitação de 24 horas as amostras apresentaram valores de 34,4 a 42,7% (Tabela 7), sendo que as formulações A100 e A75G25 aparecem com os maiores valores de massa solubilizada nos dois tempos de ensaio, sem diferença significativa entre elas, enquanto os menores percentuais, sem diferença significativa entre eles, estão associados as formulações G100, A25G75, A33G67 e A50G50 nos dois tempos de agitação empregados nas análises. Dessa maneira é possível perceber que as diferentes proporções de amido e gelatina afetaram a solubilidade dos péletes. As formulações com maior conteúdo de amido apresentaram maior solubilidade, enquanto as formulações com maior conteúdo de gelatina, uma menor solubilidade.

De acordo com Duconseille *et al.* (2015), cerca de 7% dos aminoácidos da estrutura da gelatina são hidrofóbicos e criam interações hidrofóbicas

na interface ar/água, e o aumento da concentração de gelatina em solução leva ao aumento das interações hidrofóbicas entre as suas cadeias, que competem com as ligações de hidrogênio na formação da matriz polimérica. Essas interações hidrofóbicas são não-específicas e são responsáveis pela agregação das cadeias proteicas, o que pode levar à formação de redes poliméricas menos solúveis. Porém, a proporção de interações hidrofóbicas na estrutura da gelatina ainda é difícil de se estabelecer pois são poucas as publicações significativas sobre o assunto.

5.5. CAPACIDADE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA

Os resultados da análise da capacidade de absorção de água (CAA) estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 - Resultados da capacidade de absorção de água das formulações.

Formulação	Capacidade de absorção de água (%)						
	1 min	2 min	10 min	15 min	20 min	25 min	30 min
A100	-	-	-	-	-	-	-
G100	20±0,007 ^c	24±0,005 ^c	40±0,006 ^d	48±0,008 ^b	57±0,072 ^b	54±0,043 ^c	61±0,022 ^{bc}
A75G25	47±0,059 ^a	51±0,013 ^a	58±0,040 ^{bc}	75±0,026 ^a	66±0,016 ^b	55±0,046 ^c	52±0,030 ^c
A25G75	30±0,007 ^{bc}	38±0,012 ^b	61±0,016 ^b	74±0,031 ^a	81±0,039 ^{ab}	83±0,048 ^{ab}	97±0,052 ^a
A33G67	42±0,036 ^{ab}	47±0,006 ^{ab}	74±0,023 ^a	82±0,044 ^a	92±0,004 ^a	88±0,001 ^a	92±0,050 ^a
A67G33	37±0,004 ^{ab}	47±0,050 ^{ab}	47±0,013 ^{cd}	55±0,008 ^b	61±0,036 ^b	66±0,028 ^{bc}	60±0,039 ^{bc}
A50G50	41±0,017 ^{ab}	50±0,034 ^{ab}	67±0,013 ^{ab}	74±0,027 ^a	74±0,020 ^{ab}	78±0,033 ^{ab}	80±0,044 ^{ab}

Letras minúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre as médias (teste de Tukey).

A formulação A100 se desintegrou completamente em todos os tempos de análise, impossibilitando a determinação da CAA nesta amostra. Em geral, o aumento do tempo de ensaio resultou em maiores valores na capacidade de absorção para todas as amostras (Tabela 8), exceto para a amostra A75G25, que assim como na amostra produzida com 100% de amido (A100) apresentou perda de massa por solubilização a partir de 20 min de análise.

De forma geral, as formulações A33G67 e A50G50 apresentaram os maiores valores de CAA em todos os tempos de análise, juntamente com a formulação A25G75 nos quatro últimos tempos. Já os menores valores foram apresentados pela formulação G100, em todos os tempos de análise.

Vale ressaltar o comportamento bastante diferente entre as

formulações produzidas com os polímeros puros, a formulação A100, produzida com 100% de amido na matriz polimérica, que se dissolveu completamente desde o primeiro minuto de imersão, e a formulação G100, com 100% de gelatina, que apresentou baixos percentuais de capacidade de absorção de água em todos tempos. Estes resultados são consistentes com os obtidos na análise qualitativa, análise de densidade e análise de solubilidade destas amostras. A formulação A100 que se mostrou quebradiça ao ser manuseada não resistiu íntegra quando imersa em água, e a formulação G100, que resultou em péletes menores e com maior densidade, que encolheram durante a secagem, quando em contato com a água apresentaram baixa capacidade de intumescimento.

É importante avaliar a CAA de diferentes tipos de revestimentos em conjunto com os resultados de solubilidade (VERCELHEZE *et al.*, 2019). Isso porque uma semente envolta com um material absorvente pode favorecer a disponibilidade de água durante a germinação, porém caso esse material seja facilmente dissolvido, pode não exercer essa função, até mesmo se as sementes apresentarem altos valores de CAA. Levando isso em consideração, a amostra que apresentou a melhor combinação de propriedades (baixa solubilidade e alto valor de CAA) foi a A50G50, essa amostra apresentou também o melhor rendimento de produção (Tabela 4).

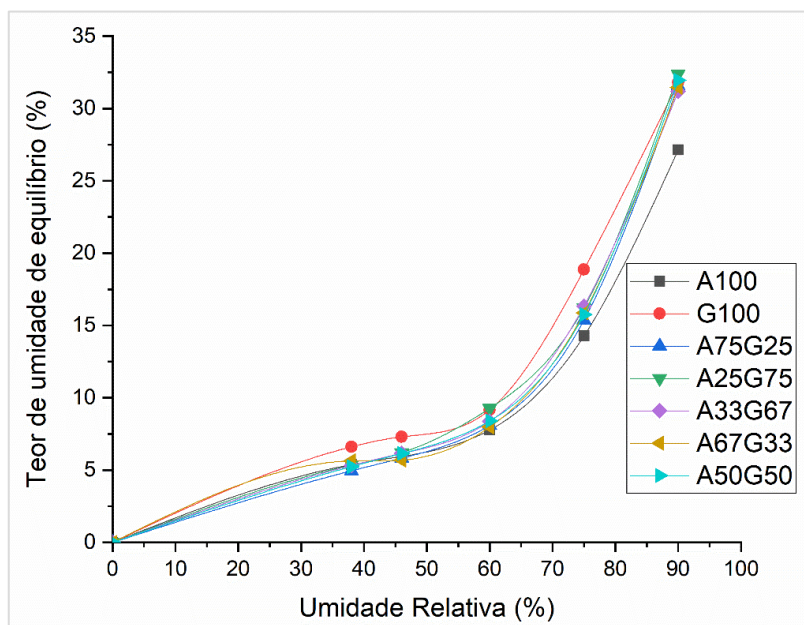
A combinação de amido com gelatina foi descrita por vários autores para a produção de diversos materiais biodegradáveis (AL-HASSAN; NORZIAH, 2012; FAKHOURI *et al.*, 2012; SOLIMAN; FURUTA, 2014; VERCELHEZE *et al.*, 2019). E no geral, esses filmes apresentaram melhores propriedades mecânicas e morfológicas do que materiais obtidos a partir dos polímeros puros, o que está relacionado com as interações entre o amido e a gelatina (polímero-polímero) que fortalecem a matriz polimérica, e como já descrito anteriormente, grupamentos presentes na estrutura do amido interagem por meio de ligações de hidrogênio com grupamentos da estrutura da gelatina formando uma rede estável com maior capacidade de retenção de água (SOLIMAN; FURUTA, 2014).

A disponibilidade de água é um fator limitante para a germinação das sementes e a absorção de água está relacionada com o fato dos grupamentos hidrofílicos do amido e da gelatina poderem interagir com as moléculas de água (polímero-água), fazendo com que estas permaneçam imobilizadas na rede tridimensional formada pelos polímeros (BADEK *et al.*, 2006; BLUNK *et al.*, 2020).

5.6. ISOTERMAS DE SORÇÃO DE ÁGUA

Equações de isotermas de adsorção são úteis para previsão das propriedades de sorção de água de materiais. Ao fornecer indícios da interação da água com componentes do material podem servir para simular condições de umidade de armazenamento. A equação de isotermas de Guggenheim-Anderson-de Boer (GAB) tem sido amplamente aplicada para descrever o comportamento de sorção de água de alimentos, como modelo representativo do processo de hidratação (MALI *et al.*, 2005). As isotermas de sorção de umidade das sementes peletizadas estão ilustradas na Figura 4 e os parâmetros do modelo GAB estão dispostos na Tabela 9.

Figura 4 - Isotermas de sorção de umidade das sementes peletizadas



O valor de monocamada (m_0) apresentado na Tabela 9 indica o máximo de água que pode ser adsorvido em uma única camada por grama de matéria seca e representa uma medida do número de sítios de sorção existentes (MALI *et al.*, 2005). A formulação A100 apresentou o menor valor de monocamada (4,89 g água/g sólidos), enquanto o maior valor (5,94 g água/g sólidos) foi correspondente à amostra A33G67. O parâmetro C está relacionado com a diferença de magnitude nas camadas superiores e na monocamada (MALI *et al.*, 2005), e de acordo com os resultados obtidos, esse parâmetro diminui com a associação dos polímeros, tendo as formulações com 100% de um polímero, amido ou gelatina, apresentado os valores mais altos. Já o valor da constante K não variou nas diferentes formulações.

Tabela 9 - Parâmetros do modelo GAB* para as sementes peletizadas.

Formulação	Parâmetros do modelo GAB			
	m_0	C	K	R ²
A100	4,89	3,0956	0,9220	0,99
G100	5,29	3,9920	0,9322	0,99
A75G25	5,18	2,2879	0,9416	0,99
A25G75	5,37	2,8960	0,9413	0,99
A33G67	5,94	2,1017	0,9155	0,99
A67G33	5,31	2,2837	0,9385	0,99
A50G50	5,18	2,9797	0,9393	0,99

* $M = m_0CKa_w / (1 - Ka_w) (1 - Ka_w + CKa_w)$, onde M é o teor de umidade de equilíbrio em certa atividade de água ($a_w = RH / 100$), m_0 é o valor de monocamada (g água / g sólidos), e C e K são constantes.

As isotermas de adsorção de umidade apresentaram forma sigmoidal (isotermas tipo II) influenciado pelas diferentes concentrações de amido e gelatina nas formulações. Possivelmente, a presença de gelatina conferiu aos péletes uma maior afinidade por umidade considerando-se a maior capacidade de adsorver água que a formulação G100 apresentou na maioria das condições de UR analisadas neste trabalho. O que coincide com o resultado de isotermas de sorção de umidade obtidos por Al-Hassan e Norziah (2012), que relataram menores teores de umidade de equilíbrio para filmes obtidos somente com amido em comparação aos valores encontrados para filmes associando-se a gelatina.

Essa observação pode ser associada ao fato de que a gelatina é mais higroscópica do que o amido e apresenta em sua estrutura uma variedade de aminoácidos hidrofílicos capazes de interagir com a água. Assim, a associação dos polímeros resulta em maior capacidade de adsorção de água, como pode ser visto na Tabela 9, na qual as formulações compostas por amido e gelatina tiveram valores de monocamada superiores quando comparados ao valor da formulação A100, composta somente por amido como polímero. Outros autores relatam de forma similar que em filmes de amido e gelatina quanto maior o conteúdo da proteína, maior a sua higroscopicidade (AL-HASSAN; NORZIAH, 2012; SOLIMAN; FURUTA, 2014).

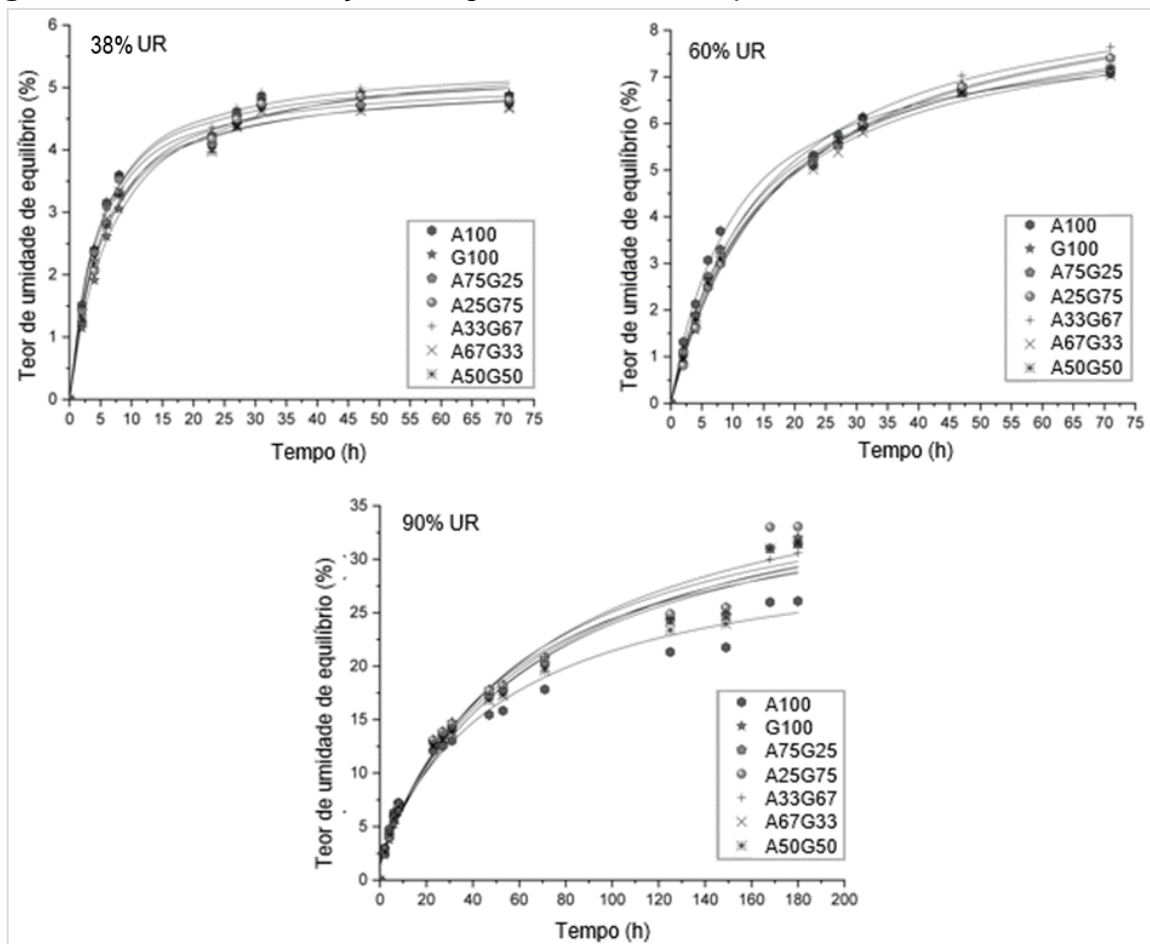
5.7. CINÉTICA DE SORÇÃO DE ÁGUA

As curvas de adsorção de umidade das sementes peletizadas estão ilustradas na Figura 5 e os parâmetros de Peleg (PELEG, 1988), k_1 e k_2 estão dispostos na Tabela 10. Para todas as formulações, nas três UR avaliadas, a adsorção de água foi mais rápida nos estágios iniciais de análise, com ênfase na UR de 38%.

A quantidade de água adsorvida foi diminuindo conforme o passar do tempo até atingir um platô, indicando que as amostras entraram em o equilíbrio com a UR intermediária. De maneira geral, pode-se observar ao final da análise, que maiores valores de umidade foram adsorvidos pelas sementes peletizadas nas maiores URs.

Pode-se observar que o tempo que as amostras levaram para atingir o equilíbrio de umidade também foi influenciado pela UR de armazenamento e pela concentração de amido e gelatina na composição das formulações. Péletes armazenados sob 90% UR demoraram mais para atingir o equilíbrio e todas as formulações de péletes atingiram equilíbrio praticamente ao mesmo tempo (Figura 5).

Figura 5 - Cinética de sorção de água das sementes peletizadas



Os parâmetros constantes de Peleg, k_1 e k_2 , estão relacionados com a velocidade de adsorção de água e com a capacidade máxima de adsorção de água, respectivamente. Quanto menor k_1 , maior a taxa de adsorção de água inicial, e quanto menor k_2 , maior a capacidade máxima de adsorção (MALI et al., 2005).

Tabela 10 - Parâmetros do modelo de PELEG* para as sementes peletizadas.

Formulação	Parâmetros do modelo de PELEG					
	38% UR		60% UR		90% UR	
	K ₁	K ₂	K ₁	K ₂	K ₁	K ₂
A100	2920	0,187	4605	0,124	6682	0,034
G100	4414	0,179	6710	0,108	5674	0,026
A75G25	2952	0,191	5704	0,118	6399	0,027
A25G75	3711	0,183	6701	0,108	6259	0,025
A33G67	2976	0,183	6284	0,110	6599	0,028
A67G33	3282	0,194	6253	0,118	6894	0,026
A50G50	3533	0,192	6159	0,115	6749	0,027

*Modelo de Peleg: $M(t) = M_0 + (t / (k_1 + k_2 t))$, k_1 em h / (g água/g sólidos) and k_2 em g sólidos / g água. Para todos os modelos calculados $R^2 \geq 0.98$.

A formulação A100 apresentou as maiores taxas de adsorção inicial a 38 e 60% UR, atingindo platô próximo a 5% de teor de umidade, enquanto outras formulações como a G100 tiveram maiores taxas de adsorção de água inicial a 90% UR. Considerando a capacidade de adsorção, as formulações que apresentaram maiores valores foram G100 sob 38% UR e G100 e A25G75 sob 60 e 90% UR.

Também é possível perceber, que nas URs de 60% e 90%, as formulações compostas pela associação dos polímeros apresentaram menores valores de k_2 em comparação com a formulação A100 (Tabela 10) indicando que a presença de gelatina na formulação aumenta a capacidade máxima de adsorção do material. Provavelmente, a menor capacidade do amido de interagir com a água, em comparação com a gelatina, está relacionada com interações intermoleculares amido-amido na matriz polimérica (MALI *et al.*, 2005).

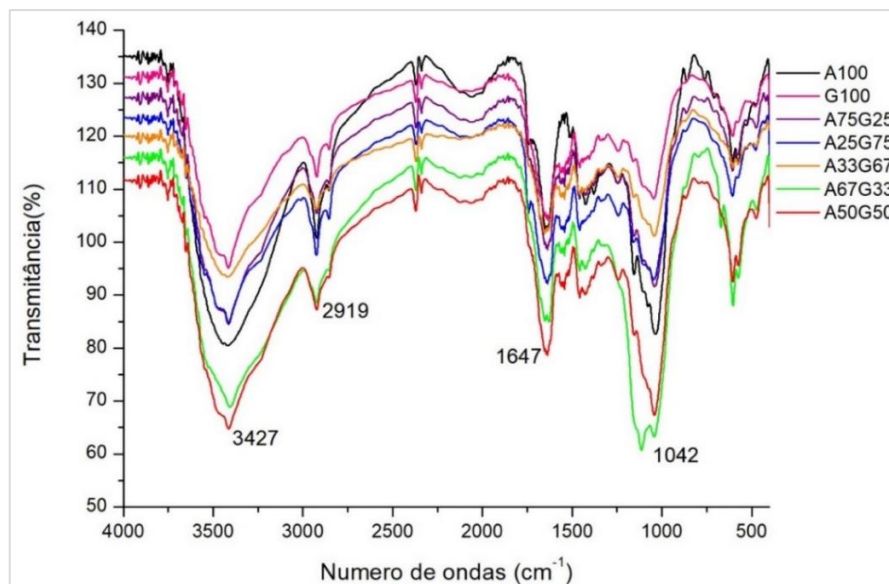
Ambos os resultados de cinética e isotermas, demonstram que a maior proporção de gelatina na formulação confere maior higroscopicidade ao material. Além disso, foi possível observar que maiores proporções de amido resultam em maiores taxas iniciais de adsorção, porém em menor quantidade. Considerando que taxas de adsorção muito elevadas podem ser desfavoráveis para o armazenamento, as formulações compostas pela associação dos polímeros, amido e gelatina, resultam em um material com propriedades melhores.

5.8. ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO COM TRANSFORMADA DE FOURIER

Na Figura 6 estão apresentados os espectros de FT-IR das formulações produzidas. De maneira geral, a análise indicou comportamento

semelhante entre as amostras, ao comparar as bandas dos espectros, pequenas variações na forma e intensidade podem ser notadas.

Figura 6 - Espectro de FT-IR das diferentes formulações de péletes



Considerando que as formulações se diferenciam pelo tipo e proporção de polímero empregados, as variações percebidas nos espectros (Figura 6) em relação as intensidades das bandas podem ser atribuídas a diferenças na composição dos polímeros, amido e gelatina, tipos de ligação envolvidas nas cadeias poliméricas e interações presentes nas misturas (SUEIRO *et al.*, 2016).

Os espectros observados para todas as amostras, incluindo a A50G50, apresentaram bandas nas mesmas regiões de absorção, dentre elas, uma banda forte centrada em 3427 cm^{-1} (Figura 6) que corresponde ao estiramento das ligações O-H (MANTOVAN *et al.*, 2018; NASCIMENTO *et al.*, 2016; SUEIRO *et al.*, 2016). Enquanto a banda em 2919 cm^{-1} pode ser relacionada com estiramento de ligações -C-H (MANTOVAN *et al.*, 2018; NASCIMENTO *et al.*, 2016). A banda formada na região de absorção de 1647 cm^{-1} é associada à flexão angular do O-H nas moléculas de água, o que sugere interação da água com os componentes das formulações (MANTOVAN *et al.*, 2018; NASCIMENTO *et al.*, 2016; SUEIRO *et al.*, 2016). Observando a região de menor número de ondas (Figura 6), percebe-se uma banda mais estreita e intensa localizada em 1042 cm^{-1} . Bandas entre 1200 e 900 cm^{-1} são típicas de carboidratos e podem ser associadas a ligações glicosídicas que ocorrem no amido do tipo C-O-C, ligações C-O, C-C e vibrações C-O-H (MANTOVAN

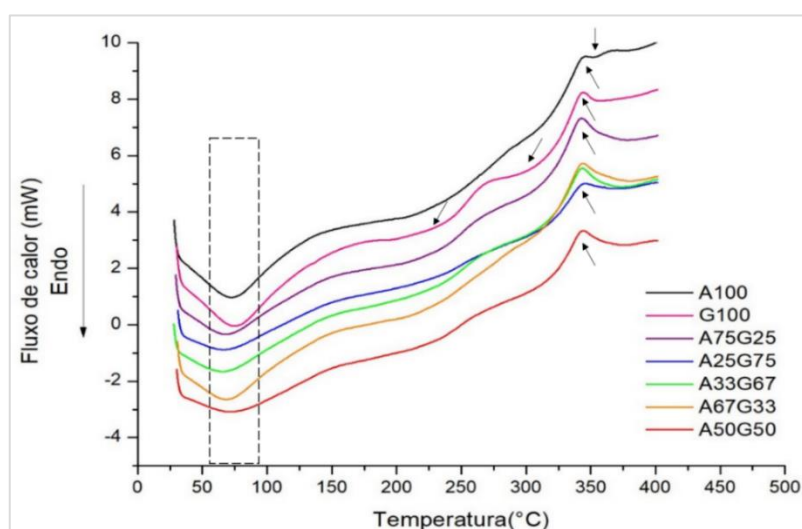
et al., 2018; SUEIRO *et al.*, 2016).

Os espectros de FT-IR referentes ao amido de milho e a gelatina encontrados por Shi *et al.* (2018) e referente a amido de mandioca encontrado por Mantovan *et al.* (2018) apresentam bandas com comportamento e padrões semelhantes aos encontrados para as formulações do presente trabalho, principalmente quando comparados aos espectros das formulações A100 e G100. Mantovan *et al.* (2018) apresentam espectros que indicam o acentuamento das bandas do amido nativo após incorporação dele nos filmes produzidos, e os espectros de Shi *et al.* (2018) indicaram diferença de intensidade das bandas da região de 3500 cm^{-1} , sendo também menos intensa no espectro da gelatina e mais intensa no do amido, similar à encontrada entre as formulações A100 e G100.

5.9. CALORIMETRIA EXPLORATÓRIA DIFERENCIAL

A Figura 7 ilustra os termogramas resultantes da análise de DSC das formulações produzidas. Pode ser observado que as amostras apresentaram comportamento muito semelhante frente a variação térmica empregada. Para todas as amostras observou-se um pico endotérmico entre 50 e 100 $^{\circ}\text{C}$, que possivelmente está relacionado à evaporação de água residual das amostras (NASCIMENTO *et al.*, 2016; SUEIRO *et al.*, 2016).

Figura 7 - Termogramas obtidos por DSC para as diferentes formulações



Na amostra contendo gelatina (G100) foram observados dois picos endotérmicos discretos (225 e 300 $^{\circ}\text{C}$), em contrapartida, um pico exotérmico próximo

a 350 °C foi observado na amostra A100 (100% amido), segundo Wang *et al.* (2017) estudando filmes de amido e colágeno (proteína precursora da gelatina) picos entre 230 a 270 °C podem estar associados a degradação térmica do colágeno e picos na faixa dos 300 °C estão associados à degradação térmica do amido. Os mesmos picos foram observados de forma mais discreta nas amostras com diferentes proporções de amido e gelatina, o que pode ser um indicativo de que a interação dos componentes nas formulações contribuiu para maior estabilidade térmica das amostras. É interessante que o material tenha estabilidade térmica para que possa ser processado sem sofrer grandes alterações ou ser modificado termicamente em ambientes com oscilação de temperatura.

Em todas as amostras observou-se um pico exotérmico entre 340 - 350 °C, que possivelmente estejam associados à degradação dos componentes majoritários da casca de aveia (celulose, hemicelulose e lignina). Segundo Pereira *et al.* (2013), a degradação térmica da celulose, hemicelulose e lignina pode ser observada em termogramas de DSC pela presença de picos exotérmicos entre 310 - 450 °C.

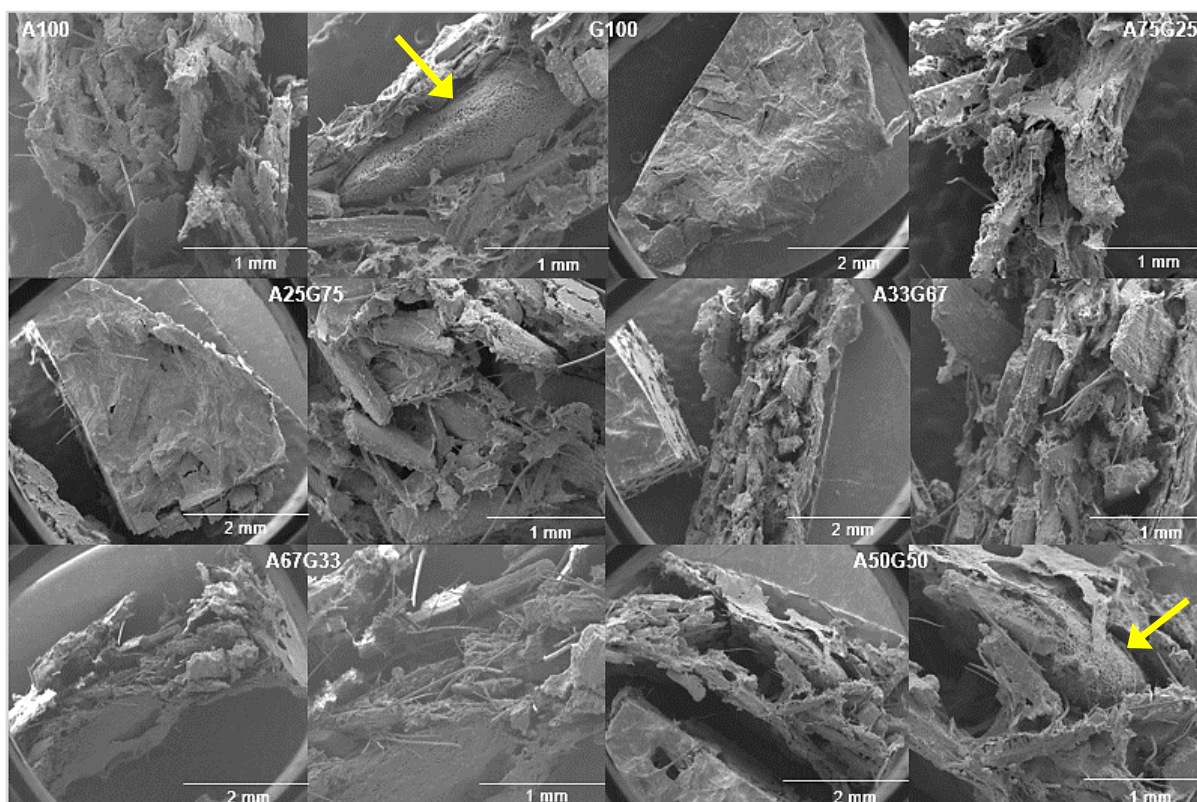
5.10. MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA

As imagens de MEV da superfície superior e da fratura de cada uma das formulações produzidas seguem ilustradas na Figura 8.

De maneira geral, os péletes apresentam estrutura fibrosa sem grandes diferenças entre as formulações e as flechas, nas micrografias dos péletes G100 e A50G50, indicam a presença da semente em meio a estrutura.

A diferença de composição das formulações dada pelas diferentes proporções de amido e gelatina não afetou a morfologia dos revestimentos. Todas as formulações apresentaram péletes com grande semelhança estrutural, bastante porosos, considerando que o material de enchimento empregado e componente adicionado em maior quantidade (15 g) em todas formulações foi a fibra de casca de aveia, entende-se que tenha sido este componente o responsável pela estrutura do material.

Figura 8 - Micrografias dos péletes produzidos obtidas por MEV



A100: Fratura do pélete em aumento de 100x; G100: Fratura em aumento de 100x e superfície superior em aumento de 45x; A75G25: Fratura em aumento de 100x; A25G75: Superfície superior em aumento de 45x e fratura em aumento de 100x; A33G67, A67G33 e A50G50: Fratura em aumento de 45x e 100x.

5.11. GERMINAÇÃO

Os testes de germinação foram realizados somente com a formulação produzida com 50% de amido e 50% de gelatina (A50G50), pois essa foi a formulação que apresentou a melhor combinação considerando as propriedades avaliadas (maior rendimento de produção, facilidade de manuseio, baixa solubilidade e alta capacidade de absorção de água). A porcentagem de germinação das sementes sem revestimento após 14 dias foi $85\pm 8\%$, enquanto as amostras de sementes peletizadas apresentaram germinação de $76\pm 5\%$. O processo de peletização acarretou em um leve decréscimo na capacidade de germinação das sementes peletizadas em comparação com as sementes não revestidas, entretanto, os valores obtidos são superiores aos determinados pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento para sementes de tomate, que estabelece porcentagem mínima de germinação de 70% para distribuição, transporte e comércio de sementes de tomate em território brasileiro (MAPA, 2019).

6 CONCLUSÃO

O processo de peletização empregado neste trabalho resultou em mudança de formato, diminuição de densidade e aumento de massa das sementes que são propriedades desejáveis para facilitar o plantio. O pH dos péletes produzidos variou de 6,09 a 6,55 e seu teor de umidade variou de 7,68 a 9,08%, o que é considerado seguro para o armazenamento da maioria dos tipos de sementes.

Maiores proporções de amido resultaram em péletes mais quebradiços e solúveis, que apresentavam difícil manuseio, enquanto maiores conteúdos de gelatina aumentaram a capacidade de adsorção de água das amostras. Considerando todas as formulações testadas, a A50G50, produzida com 50% de amido e 50% de gelatina, exibiu a melhor combinação das propriedades (alto rendimento de produção, fácil manuseio, baixa solubilidade e alta capacidade de absorção de água), por conseguinte foi a selecionada para os testes de germinação.

A germinação das sementes peletizadas (amostra A50G50) foi de 76%, valor superior à porcentagem mínima de germinação exigida, o que é promissor considerando a próxima etapa da pesquisa, que terá como objetivo a busca por uma abordagem adequada para aplicação dos péletes às sementes para maximizar sua germinação.

REFERÊNCIAS

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR NM ISO 535:1999, Versão Corrigida: 2011. Disponível online para compra em: <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=88326>. Acesso em: 17 jun. 2020.
- ADEKIYA, A. O.; AGBEDE, T. M. Growth and yield of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) as influenced by poultry manure and NPK fertilizer. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, v. 21, n. 1, p. 10-20, 2009.
- AL-HASSAN, A. A.; NORZIAH, M. H. Starch-gelatin edible films: Water vapor permeability and mechanical properties as affected by plasticizers. **Food Hydrocolloids**, v. 26, n. 1, p. 108-117, janeiro 2012.
- AMIRKHANI, M.; NETRAVALI, A. N.; HUANG, W.; TAYLOR, A. G. Investigation of Soy Protein-based Biostimulant Seed Coating for Broccoli Seedling and Plant Growth Enhancement. **HortScience**, v. 51, n. 9, p. 1121-1126, setembro 2016.
- BADEK, B.; VAN DUIJN, B.; GRZESIK, M. Effects of water supply methods and seed moisture content on germination of China aster (*Callistephus chinensis*) and tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) seeds. **European Journal of Agronomy**, v. 24, n. 1, p. 45-51, janeiro 2006.
- BARCLAY, Stuart. **Seed coating compositions**. Depositante: Stuart Barclay. US nº 2015/0101245-A1. Depósito: 16 abril 2015. Disponível em: https://worldwide.espacenet.com/advancedSearch?locale=en_EP. Acesso em: 24 nov. 2019.
- BARNES, A.; DE SOTO, I.; EORY, V.; BECK, B.; BALAFOUTIS, A.; SÁNCHEZ, B.; VANGEYTE, J.; FOUNTAS, S.; VAN DER WAL, T.; GÓMEZ-BARBERO, M. Influencing factors and incentives on the intention to adopt precision agricultural technologies within arable farming systems. **Environmental Science and Policy**, Edinburgh, Reino Unido, v. 93, p. 66-74, março 2019.
- BARROS, D.I.; NUNES, H.V.; DIAS, D.C.F.S.; BHERING, M.C. Comparação entre testes de vigor para avaliação da qualidade fisiológica de sementes de tomate. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 24, n. 2, p. 12-16, 2002.
- BIZOT, H. Using the GAB model to construct sorption isotherms. *In*: JOWITT, R.; ESCHER, F.; HALLISTROM, B.; MEFFERT, H.F.T.; SPIESS, W.E.L., VOS, G. **Physical Properties of Foods**. Londres, Inglaterra: Applied Science Publishers, 1984. p. 27-41.
- BLUNK, S.; HOFFER, J.; BROSDA S.; DE HEER M.I.; STURROCK C.J.; MOONEY S.J. Impact of fruit orientation and pelleting material on water uptake and germination performance in artificial substrate for sugar beet. **Plos ONE**, v. 15, n. 5, e0232875, p. 1-15, maio 2020.
- BRANDELERO, R. P. H.; ALMEIDA, F. M.; ALFARO, A. Microestrutura e Propriedades de Filmes de Amido-Álcool Polivinílico-Alginato Adicionados de Óleos Essenciais de

Copaíba e Capim Limão. **Química Nova**, v. 38, n. 7, p. 910-916, junho 2015.

BRASIL. Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Regras para análise de sementes**. 1ª Edição. Brasília: MAPA / Assessoria de Comunicação Social, 2009.

BULÉON, A.; COLONNA, P.; PLANCHOT, V.; BALL, S. Starch granules: structure and biosynthesis. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 23, n. 2, p. 85-112, agosto 1998.

BURGESSER, Frederik W. **Seed pellet**. Depositante: Filtrol Corporation. US nº 2579734-A. Depósito: 25 de dezembro de 1951. Disponível em: https://worldwide.espacenet.com/advancedSearch?locale=en_EP. Acesso em: 26 mar. 2020.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 4ª Edição. Jaboticabal: FUNEP, p. 588, 2000.

CONRAD, Robert. **Cast pellets for planting seeds**. Depositante: Ball Horticultural Company; Robert Conrad. WO nº 2011/123602-A1. Depósito: 06 de outubro de 2011. Disponível em: https://worldwide.espacenet.com/advancedSearch?locale=en_EP. Acesso em: 24 nov. 2019.

CONRAD, Robert. **Cast pellets for planting seeds**. Depositante: Robert Conrad; Ball Horticultural Company. US nº 8966814-B2. Depósito: 03 de março de 2015. Disponível em: https://worldwide.espacenet.com/advancedSearch?locale=en_EP. Acesso em: 24 nov. 2019.

CUESTA-SEIJO, J. A.; RUZANSKI, C.; KRUCIEWICZ, K.; MEIER, S.; HÄGGLUND, P.; SVENSSON, B.; PALCIC, M. M. Functional and structural characterization of plastidic starch phosphorylase during barley endosperm development. **PLoS ONE**, v. 12, n. 4, e0175488, abril 2017.

DA CONCEIÇÃO, P. M.; VIEIRA, H. D. Qualidade fisiológica e resistência do recobrimento de Sementes de Milho. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 30, n. 3, p. 48-53, fevereiro 2008.

DERRÉ, L. O.; CUSTÓDIO, C. C.; AGOSTINI, E. A. T.; GUERRA, W. E. X. Obtenção das curvas de embebição de sementes revestidas e não revestidas de *Urochloa brizantha* e *Urochloa ruziziensis*. **Colloquium Agrariae**, v. 9, n. 2, p. 103-111, julho/dezembro 2013.

DUCONSEILLE, A.; ASTRUC, T.; QUINTANA, N.; MEERSMAN, F.; SANTE-LHOUTELLIER, V. Gelatin structure and composition linked to hard capsule dissolution: A review. **Food Hydrocolloids**, v. 43, p. 360-376, janeiro 2015.

EWULO, B. S.; OJENIYI, S. O.; AKANNI, D. A. Effect of poultry manure on selected soil physical and chemical properties, growth, yield and nutrient status of tomato. **African Journal of Agricultural Research**, v. 3, n. 9, p. 612-616, setembro 2008.

FAKHOURI, F. M.; COSTA, D.; YAMASHITA, F.; MARTELLI, S. M.; JESUS, R. C.; ALGANER, K.; COLLARES-QUEIROZ, F. P.; INNOCENTINI-MEI, L. H. Comparative study of processing methods for starch/gelatin films. **Carbohydrate polymers**, v. 95, n. 2, p. 681-689, junho 2013.

FAKHOURI, F. M.; FONTES, L. C. B.; GONÇALVES, P. V. M.; MILANEZ, C. R. STEEL, C. J.; COLLARES-QUEIROZ, F. P. Filmes e coberturas comestíveis compostas à base de amidos nativos e gelatina na conservação e aceitação sensorial de uvas Crimson. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 2, p. 369-375, abril/junho 2007.

FAKHOURI, F. M.; MARTELLI, S. M.; BERTAN, L. C.; YAMASHITA, F.; INNOCENTINI-MEI, L. H.; COLLARES-QUEIROZ, F. P. Edible films made from blends of manioc starch and gelatin - Influence of different types of plasticizer and different levels of macromolecules on their properties. **LWT - Food Science and Technology**, v. 49, n. 1, p. 149-154, novembro 2012.

FAO. Food and Agriculture Organization. **Seeds toolkit - Module 6: Seed storage**. Roma, Itália: FAO, 2018.

FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United States. Countries by commodity. Top 10 country production of tomatoes, 2018. Disponível em: http://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries_by_commodity. Acesso em: 04 de agosto 2020.

FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United States. Crops. World production of tomatoes, 2018. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Acesso em: 04 de agosto 2020.

FERREIRA, V. F.; FERREIRA, T. F.; CARVALHO, R. A.; MAVAIEIE, D. P. R.; PEREIRA, D. S.; OLIVEIRA, J. A. Qualidade fisiológica de sementes revestidas de braquiária híbrida cv. Mulato II. **Revista Agro@ambiente**, v. 9, n. 2, p. 161-166, abril/junho 2015.

FRANÇA NETO, J. B.; KRZYZANOWSKI, F. C.; HENNING, A. A. A Importância do Uso das Sementes de Soja de Alta Qualidade. **EMBRAPA**. n. 1, março 2010.

GÁLVEZ, A.; LÓPEZ-GALINDO, A.; PEÑA, A. Effect of different surfactants on germination and root elongation of two horticultural crops: implications for seed coating. **New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science**, v. 47, n. 2, p. 83-98, outubro 2018.

GARCIA, V.A.S.; BORGES, J.G.; MACIEL, V.B.V.; MAZALLI, M.B.; LAPA-GUIMARÃES, J.G.; VANIN, F.M.; DE CARVALHO, R. A. Gelatin/ starch orally disintegrating films as a promising system for vitamin C delivery. **Food Hydrocolloids**, v.79, p. 127-135, junho 2018.

GAO, Y.; PAN, S.; GUO, G.; GU, Q.; PAN, R.; GUAN, Y.; HU, J. Preparation of a thermoresponsive maize seed coating agent using polymer hydrogel for chilling resistance and anti-counterfeiting. **Progress in Organic Coatings**, v. 139, 105452,

fevereiro 2020.

GEORGE, B.; KAUR, C.; KHURDIYA, D. S.; KAPOOR, H. C. Antioxidants in tomato (*Lycopersium esculentum*) as a function of genotype. **Food Chemistry**, v. 84, n. 1, p. 45-51, janeiro 2004.

GORIM, L.; ASCH, F. Effects of composition and share of seed coatings on the mobilization efficiency of cereal seeds during germination. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 198, n. 2, p. 81-91, abril 2012.

GOVINDEN-SOULANGE, J.; LEVANTARD, M. Comparative studies of seed priming and pelleting on percentage and meantime to germination of seeds of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). **African Journal of Agricultural Research**, v. 3, n. 10, p. 725-731, outubro 2008.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Diretoria de Pesquisas, Coordenação Agropecuária, Levantamento Sistemático da Produção Agrícola (LSPA), maio de 2020. Tabela 2 - Área, Produção e Rendimento Médio - Confronto das safras de 2019 e das estimativas para 2020. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9201-levantamento-sistematico-da-producao-agricola.html?=&t=resultados>. Acesso em: 17 de junho 2020.

JACOB, S. R.; KUMAR, M. B. A.; VARGHESE, E.; SINHA, S. N. Hydrophilic polymer film coat as a micro-container of individual seed facilities safe storage of tomato seeds. **Scientia Horticulturae**, v. 204, p. 116-122, junho 2016.

KIM, Seung-Hyun. **Pellet of bulbous plants, a method of pelletization and a cultivation method of plants using the same**. Depositante: Seung-Hyun Kim. WO nº 2004/036975-A1. Depósito: 6 de maio de 2004. Disponível em: https://worldwide.espacenet.com/advancedSearch?locale=en_EP. Acesso em: 24 nov. 2019.

KIM, Seung-Hyun. **Pellet of bulbous plants, a method of pelletization and a cultivation method of plants using the same**. Depositante: Seung-Hyun Kim. US nº 2006/0196117-A1. Depósito: 7 de setembro de 2006. Disponível em: https://worldwide.espacenet.com/advancedSearch?locale=en_EP. Acesso em: 24 nov. 2019.

KOZLOV, P. V.; BURDYGINA, G.I. The structure and properties of solid gelatin and the principles of their modification. **Polymer**, v. 24, p. 651-666, junho 1983.

LI, X.; JIANG, G.; YANG, L.; PENG, S. Study of Gelatin as Biodegradable Shale Hydration Inhibitor. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 539, p. 192-200, fevereiro 2018.

ZIXUE, Liu *et al.* **A coating agent and a method for pelleting seeds of Cynodondactylon (Linn.) Pers by using the coating agent**. Depositante: Beijing Clover Seed & Turf CO. CN nº 103058764-B. Depósito: 20 de maio de 2015. Disponível em: https://worldwide.espacenet.com/advancedSearch?locale=en_EP. Acesso em: 26 mar. 2020.

LAPIDOT, Miri Miriam *et al.* **Methods and compositions for the delivery of nucleic acids to seeds**. Depositante: Morflora Israel LTD. US nº 2015/0040268-A1. Depósito: 5 de fevereiro de 2015. Disponível em: https://worldwide.espacenet.com/advancedSearch?locale=en_EP. Acesso em: 24 nov. 2019.

LOPES, A. C. A.; NASCIMENTO, W. M. Peletização em sementes de hortaliças. **Documentos / Embrapa Hortaliças**, 137, 28 p. Brasília, DF: Embrapa, julho 2012.

LORO, A. C.; BOTTEON, V. W.; SPOTO, M. H. F. Quality parameters of tomatoes submitted to different doses of gamma radiation. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 21, e2017168, dezembro 2018.

MA, Y. Seed coating with beneficial microorganisms for precision agriculture. **Biotechnology Advances**, vol. 37, n. 7, 107423, novembro 2019.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa Nº 42, de 17 de setembro de 2019.

MALI, S.; SAKANAKA, L. S.; YAMASHITA, F.; GROSSMAN, M. V. E. Water sorption mechanical properties of cassava starch films and their relation to plasticizing effect. **Carbohydrate Polymers**, v. 60, n. 3, p. 283-289, maio 2005.

MALI, S.; GROSSMANN, M. V. E.; YAMASHITA, F. Filmes de amido: produção, propriedades e potencial de utilização. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 31, n. 1, p. 137-156, jan./mar. 2010.

MANIGLIA, B. C.; LIMA, D. C.; MATTA JUNIOR, M. D.; LE-BAIL, P.; LE-BAIL, A.; AUGUSTO, P. E. D. Hydrogels based on ozonated cassava starch: Effect of ozone processing and gelatinization conditions on enhancing printability for 3D-printing applications. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 138, p. 1087-1097, outubro 2019.

MANTOVAN, J.; BERSANETI, G. T.; FARIA-TISCHER, P. C. S.; CELLIGOI, M.A.P.C.; MALI, S. Use of microbial levan in edible films based on cassava starch. **Food Packaging and Shelf Life**, v.18, p. 31–36, dezembro 2018.

MEI, J.; WANG, W.; PENG, S.; NIE, L. Seed pelleting with calcium peroxide improves crop establishment of direct-seeded rice under waterlogging conditions. **Scientific Reports**, v. 7, 4878, julho 2017.

MELO, A. P. C.; SELEGUINIL, A.; VELOSO, V. R. S; PEREIRA, J. M. Recobrimento de sementes de tomate com concentrações crescentes de polímero sintético. **Ciência Rural**, v. 45, n. 6, p. 958-963, junho 2015.

NASCIMENTO, P.; MARIM, R.; CARVALHO, G.; MALI, S. Nanocellulose produced from rice hulls and its effect on the properties of biodegradable starch films. **Materials Research**, v.19, n. 1, p. 167-174, fevereiro 2016.

NIKOLAEVICH, Abramov Sergey. **Method for seed pelleting**. Prykmeta Aleksandr

Vasilievich. DE nº 112004000203-T5. Depósito: 01 junho 2006. Disponível em: https://worldwide.espacenet.com/advancedSearch?locale=en_EP. Acesso em: 26 mar. 2020.

OLIVEIRA, J. A.; PEREIRA, C. E.; GUIMARÃES, R. M.; VIEIRA, A. R.; DA SILVA, J. B. C; Efeito de diferentes materiais de peletização na deterioração de sementes de tomate durante o armazenamento. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 25, n. 2, pag. 20-27, dezembro 2003.

PEDRINI, S.; MERRITT, D. J.; STEVENS, J.; DIXON, K. Seed Coating: Science or Marketing Spin? **Trends Plant Science**, v. 22, n. 2, p. 106-16, fevereiro 2017.

PELEG, M. An empirical model for the description of moisture sorption curves. **Journal of Food Science**, v. 53, n. 4, p. 1216-1217, julho 1988.

PENIDO, E. C. C.; TEIXEIRA, M. M.; FERNANDES, H. C.; MONTEIRO, P. B.; CECON, P. R. Development and evaluation of a remotely controlled and monitored self-propelled sprayer in tomato crops. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 50, n. 1, p. 8-17, janeiro/março 2019.

PEREIRA, B. L. C.; CARNEIRO, A. C. O.; CARVALHO, A. M. M. L.; TRUGILHO, P. F.; MELO, I. C. N. A.; OLIVEIRA, A. C. Estudo da degradação térmica da madeira de *Eucalyptus* através de termogravimetria e calorimetria. **Revista Árvore**, v. 37, n. 3, p. 567 - 576, maio/junho 2013.

PESKE, F. B.; NOVENBRE, A. D. L. C. Pearl millet seed pelleting. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 33, n. 2, p. 352-362, 2011.

QIU, Y.; AMIRKHANI, M.; MAYTON, H.; CHEN, Z.; TAYLOR, A. G. Biostimulant seed coating treatments to improve cover crop germination and seedling growth. **Agronomy**, v. 10, n. 2, 154, janeiro 2020.

RAJKUMAR, C.; THIRUMALRAJ, B.; CHEN, S.; CHEN, H. A simple preparation of graphite/gelatin composite for electrochemical detection of dopamine. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 487, p. 149-155, fevereiro 2017.

RAKESH, P.; PRASAD, R. D.; DEVI, G. U.; BHAT, B. N. Effect of biopolymers and synthetic seed coating polymers on castor and groundnut seed. **International Journal of Pure & Applied Bioscience**, v. 5, n. 4, p. 2043-2048, agosto 2017.

REN, X.; CHEN, C.; YE, Z.; SU, X.; XIAO, J.; LIAO, M.; CAO, H. Development and application of seed coating agent for the control of major soil-borne diseases infecting wheat. **Agronomy**, v. 9, n. 8, 413, julho 2019.

RUFINO, C. A.; TAVARES, L. C.; MARTÍN-RAMOS, P.; FERNANDES-VIEIRA, J.; JÚNIOR, J. S. A.; SILVA, F. J. A.; FERNANDES-CORREA, M.; MARTÍN-GIL, J. Performance of soybean seedlings upon nutrient application by seed coating. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.60, e17160128, maio 2017.

SHARMA, K. K.; SINGH, U. S.; SHARMA, P.; KUMAR, A.; SHARMA, L. Seed

treatments for sustainable agriculture – A review. **Journal of Applied and Natural Science**, v. 7, n. 1, p. 521-539, junho 2015.

SHI, C.; TAO, F.; CUI, Y. New starch ester / gelatin based films: Developed and physicochemical characterization. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 109, p. 863-871, abril 2018.

SILVA, J. B. C. **Avaliação de métodos e materiais para peletização de sementes**. 1997. Tese de Doutorado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 197 p., 1997.

SILVA, W. R.; MARCOS FILHO, J. Influência do peso e do tamanho das sementes de milho sobre o desempenho no campo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 17, n. 12, p. 1743-1750, dezembro 1982.

SOLIMAN, E. A.; FURUTA, M. Influence of phase behavior and miscibility on mechanical, thermal and micro-structure of soluble starch-gelatin thermoplastic biodegradable blend films. **Food and Nutrition Sciences**, v. 5, n. 11, p. 1040-1055, junho 2014.

SPREY, L. M.; FERREIRA, S. A. N. Qualidade fisiológica de sementes peletizadas de tomate. *In*: I CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE HORTICULTURA (I CLBHort), 2017. Lisboa, Portugal. **29 Actas portuguesas de horticultura**, 1ª edição. Lisboa, Portugal: Associação Portuguesa de Horticultura (APH), 2018. p. 375-383.

SUEIRO, A. C.; FARIA-TISCHER, P. C. S.; LONNIC, A. A. S. G.; MALI, S. Filmes biodegradáveis de amido de mandioca, pululana e celulose bacteriana. **Química Nova**, v. 39, n. 9, p. 1059-1064, julho 2016.

SUN, L.; XIA, Y.; ZHAO, X.; GAO, Z.; YU, F.; LU, J.; LI, F.; HUA, Z.; DONG, L.; QI, N. Effects of seed-pelleting on physiological characteristics of rice. **IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science**, v. 252, 052068, 2019.

SUO, H. C.; LI, W.; WANG, K. H.; ASHRAF, U.; LIU, J. H.; HU, J. G.; LI, Z. J.; ZHANG, X. L.; XIE, J.; ZHENG, J. R. Plant growth regulators in seed coating agent affect seed germination and seedling growth of sweet corn. **Applied Ecology and Environmental Research**, v. 15, n. 4, p. 829-839, 2017.

TANADA-PALMU, P. S.; PROENÇA, P. S. P.; TRANI, P. E.; PASSOS, F. A.; GROSSO, C. R. F. Recobrimento de sementes de brócolos e salsa com coberturas e filmes biodegradáveis. **Bragantia**, v. 64, n. 2, p. 291-297, 2005.

TAYLOR, Geoffrey Gordon. **Improvements in or relating to pasture establishment**. Depositante: Coated Seed Limited. AU n° 475490-B2. Depósito: 26 de setembro de 1974. Disponível em: https://worldwide.espacenet.com/advancedSearch?locale=en_EP. Acesso em: 26 mar. 2020.

VERCELHEZE, A. E.; MARIM, B. M.; OLIVEIRA, A. L. M.; MALI, S. Development of

biodegradable coatings for maize seeds and their application for *Azospirillum brasilense* immobilization. **Microbiology and Biotechnology**, v. 103, p. 2193-2203, janeiro 2019.

WANG, K.; WANG, W.; YE, R.; LIU, A.; XIAO, J.; LIU, Y.; ZHAO, Y. Mechanical properties and solubility in water of corn starch-collagen composite films: Effect of starch type and concentrations. **Food Chemistry**, v. 216, p. 209-216, fevereiro 2017.

WARNER, Anne. **Mycorrhizal seed pellets**. Depositante: National Research Development Corporation. US nº 4551165-A. Depósito: 5 de novembro de 1985. Disponível em: https://worldwide.espacenet.com/advancedSearch?locale=en_EP. Acesso em: 24 nov. 2019.

ZENG, D.; FAN, Z.; TIAN, X.; WANG, W.; ZHOU, M.; LI, H. Preparation and mechanism analysis of an environment-friendly maize seed coating agent. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 98, n. 8, p. 2889-2897, dezembro 2018.

ZIANI, K., URSÚA, B., MATÉ, J.I. Application of bioactive coatings based on chitosan for artichoke seed protection. **Crop Protection**, v. 29, n. 8, p. 853-859, agosto 2010.