

**UFRRJ**  
**INSTITUTO DE TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA**  
**E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS**

**TESE**

**Elaboração e caracterização físico-química e sensorial  
de achocolatado em pó formulado com farinha  
extrudada de sorgo integral**

**Cristiany Oliveira Bernardo**  
**2020**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
DE ALIMENTOS**

**Elaboração e caracterização físico-química e sensorial de achocolatado  
em pó com farinha extrudada de sorgo integral**

**CRISTIANY OLIVEIRA BERNARDO**

*Sob a Orientação do professor*  
**José Luis Ramírez Ascheri**  
*e Co-orientação do professor*  
**Carlos Wanderlei Piler de Carvalho**

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutora em Ciências e Tecnologia de Alimentos**, no Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, área de concentração em Ciência de Alimentos.

Seropédica, RJ  
Julho de 2020

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

B518e Bernardo, Cristiany Oliveira, 1991-  
Elaboração e caracterização físico-química e sensorial de achocolatado em pó formulado com farinha extrudada de sorgo integral / Cristiany Oliveira Bernardo. - Seropédica, 2020.  
151 f.

Orientadora: José Luis Ramirez Ascheri.  
Coorientadora: Carlos Wanderlei Piler Carvalho.  
Tese(Doutorado). -- Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, 2020.

1. Sorgo na alimentação humana. 2. Bebida com cereal. 3. Análise sensorial. 4. Análise físico química. 5. Alimento instantâneo. I. Ascheri, José Luis Ramirez , 1955-, orient. II. Carvalho, Carlos Wanderlei Piler, 1967-, coorient. III Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos. IV. Título.

**O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.**



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**  
**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE**  
**ALIMENTOS**



**ATA Nº 1665 / 2020 - PPGCTA (12.28.01.00.00.00.41)**

**Nº do Protocolo: 23083.035639/2020-91**

**Seropédica-RJ, 04 de agosto de 2020.**

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
 INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
 PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

**CRISTIANY OLIVEIRA BERNARDO**

Tese submetida como requisito parcial para a obtenção do grau de doutora, no Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Área de Concentração em Ciência de Alimentos.

Tese APROVADA EM 17/07/2020.

\_\_\_\_\_  
 JOSÉ LUIS RAMIREZ ASCHERI (Dr) EMBRAPA (orientador)

\_\_\_\_\_  
 ROSIRES DELIZA (Drª) EMBRAPA

\_\_\_\_\_  
 ELAINE SOUZA CÔCARO (Drª) IffsudesteMG

\_\_\_\_\_  
 EVELINE LOPES ALMEIDA (Drª) UFRJ

\_\_\_\_\_  
 FERNANDA ZARATINI VISSOTTO (Drª) ITAL

Conforme deliberação número 001/2020 da PROPPG, de 30/06/2020.

*(Assinado digitalmente em 18/08/2020 13:42 )*

ELAINE SOUZA COCARO  
 ASSINANTE EXTERNO

*(Assinado digitalmente em 07/08/2020 10:39 )*

EVELINE LOPES ALMEIDA  
 ASSINANTE EXTERNO

*(Assinado digitalmente em 05/08/2020 11:30 )*

FERNANDA ZARATINI VISSOTTO  
 ASSINANTE EXTERNO

*(Assinado digitalmente em 05/08/2020 14:34 )*

JOSE LUIS RAMIREZ ASCHERI  
 ASSINANTE EXTERNO

*(Assinado digitalmente em 12/08/2020 15:46 )*

ROSIRES DELIZA  
 ASSINANTE EXTERNO

Para verificar a autenticidade deste documento entre em  
<https://sipac.ufrj.br/public/documentos/index.jsp> informando seu número: **1665**, ano:  
**2020**, tipo: **ATA**, data de emissão: **04/08/2020** e o código de verificação: **ef8b33129d**



## DEDICATÓRIA

*Creio em dois livros: o da natureza e o da criação. O livro da criação me ensina sobre o livro da natureza. Para ser mais precisa, ele me ensina três coisas: a primeira é um mandato, ou seja, uma ordem do criador para investigar a criação. A segunda é que ele me diz que toda criação (o livro da natureza) me aponta para um criador. A terceira é que esse criador é quem sustenta todas as leis do universo, observadas por nós. O criador, portanto, me ensinou qual deveria ser minha principal motivação para fazer ciência, que é conhecer sua infinitude, revelada em Jesus. Por isso, dedico essa tese a Deus, meu senhor.*

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) e ao programa de pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela oportunidade de realização desse privilégio.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa.

À Embrapa agroindústria de alimentos e Embrapa Milho e sorgo, pela possibilidade de realização dessa pesquisa.

Ao Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL, Campinas) pela oportunidade de utilização do aglomerador, pela estadia e por nos recepcionar de forma excelente.

Ao meu orientador, José Luis Ramírez Ascheri e ao meu co-orientador Carlos Wanderlei Piler de Carvalho, pela atenção, paciência, orientação, pelo conhecimento e experiência que me ensinaram. Agradeço-os também pelos dias de extrusão que ficavam durante todo o processo.

Ao amigo que ganhei nesse tempo, Davy Hidalgo Chávez, por toda paciência em me ensinar, contribuição na realização das análises estatísticas e pelos momentos de incentivo, quando eu estava desanimada.

À Mayara pela viagem comigo à Campinas e pela ajuda na aglomeração e em análises, como nas últimas análises sensorial.

À pesquisadora Fernanda Vissoto (ITAL), que me ajudou na aglomeração das amostras ficando o tempo todo no processamento e me orientando em algumas decisões. Aos técnicos (ITAL), Marcos e Túlio, pela disposição em operar o equipamento e resolver os problemas que surgiram.

À pesquisadora Cristina Takeiti que me ajudou muito ao longo da pesquisa, com suas ideias, seu pensamento crítico, seu incentivo e pela revisão da tese.

À pesquisadora Rosires Deliza, Daniela Freitas, Marcela Alcantara, Inayara Martins e Rodrigo pelos dias de análise sensorial, esclarecimentos e revisões a respeito da análise sensorial.

À Pesquisadora Valéria Queiroz, ao Rafael, à Renata e ao Vinicius por me recepcionarem muito bem em Sete Lagoas (MG) e me ajudarem na análise de amido resistente.

À Erika Fraga que me ajudou implantando a análise de índice glicêmico na Embrapa agroindústria de Alimentos e com muita paciência e perseverança, nós conseguimos.

Ao Neuri, que também ajudou na implantação da análise de índice glicêmico, assim como na análise de higroscopicidade operando o analisador de sorção.

Ao senhor Francisco pelas moagens. À Mari e à Adriana por tirar dúvidas de equipamentos, acudir quando algo dava errado e pelas risadas no laboratório. Aos estagiários e às estagiárias da planta IV da Embrapa, pelas contribuições no laboratório e nos momentos de pesquisa.

Às bancas examinadoras das qualificações, assim como de defesa da tese pelas contribuições e disposição em me avaliar.

Ao meu esposo, Lucas Ramos, que nesse tempo meu maior companheiro e por sempre me incentivar e me mostrar a importância da ciência para nossa fé. À minha família, mãe, pai, Christian, Ju e Ryan por sempre me incentivar e se orgulharem de mim. Aos meus sogros, pelo incentivo e pela bike que me doaram no início do mestrado para que eu conseguisse ir às aulas da Rural e morar no Km 49, em Seropédica.

Às amigas Inayara e Fabi, cujos laços de amizade se estreitaram nesse tempo, pela companhia, conversas, risos e choros na casa em que moramos.

Às amigas (que ganhei nesse tempo morando no RJ), Anita e tia Maria, pelas orações, conselhos, passeios, caronas, companhias e por abrirem sua casa para que eu pudesse morar no finalzinho do doutorado. À amiga Jaque pelo carinho, amizade e caronas. A todos os amigos que fiz na PIBCG, pelas orações e conselhos de vida.

À Wandréia de Paula, a quem serei eternamente grata, por me ajudar na graduação, me dando hospedagem, alimentação e carinho, o primeiro degrau que me possibilitou chegar ao doutorado.

E a todos outros que eu possa que de alguma forma contribuíram para a realização do doutorado.

A Deus, porque toda ciência vem dele.

## BIOGRAFIA

Sou filha do Antônio e da Tiana, um frentista e uma senhora do lar, e esposa do Lucas Ramos. Meu pai não completou o ensino fundamental, mas sempre me dizia: “Filha, você tem que estudar e ir além de mim”. Minha mãe, um pouco mais estudada, me dava o mesmo conselho. Meus pais, infelizmente, não tiveram essa oportunidade, mas me incentivaram e me permitiram chegar aqui. Então, vou contar resumidamente como cheguei ao doutorado.

Eu nasci no início dos anos 90, quando criança eu dizia que seria professora, isso porque eu tinha grande admiração por elas. Os anos se passaram, passamos dificuldades em alguns períodos da vida, pois meu pai sempre recebeu salário mínimo para sustentar 5 e construiu 3 casas. Vivi toda minha infância e adolescência em Ubá. Eu morava, onde meus pais ainda moram, em um dos bairros mais pobres da cidade. Lembro que meus pais não deixavam eu e meus irmãos brincar na minha rua por medo de entrarmos para o crime. Então, eu ficava no quintal, do lado de dentro da cerca velha feita de bambu e arame, olhando outras crianças brincarem.

Com 17 anos completei o ensino médio. Nessa época, Comecei a trabalhar como operadora de caixa em supermercado, porque meu pai não podia pagar o cursinho pré-vestibular. Fiquei um mês nessa função, mas certo dia o patrão me chamou e disse que ele não poderia assinar minha carteira e me dispensou, pois eu ainda era menor de idade e a função oferecia riscos. Naquele dia sentei na praça próxima ao mercado e chorei sozinha.

Nessa época, prestei vestibular na UFV, UFJF, mas não passei. Então, comecei de novo a trabalhar, dessa vez em um posto de gasolina, e estava disposta a fazer faculdade na minha cidade mesmo, trabalhando de dia e estudando a noite, para pagar, embora não houvesse um curso com o qual eu me identificava na época. Entretanto, meu destino mudou, quando minha mãe insistiu que eu prestasse vestibular no Instituto Federal de Rio Pomba. Na época, tive que pegar dinheiro emprestado ao meu primo para fazer a inscrição, pois eu não havia recebido. Eu passei, peguei meu acerto de 3 meses do posto e paguei o primeiro mês em uma república, mas havia outro problema, eu não teria dinheiro para continuar me sustentando em RP e o curso era integral.

Foi nesse momento que Deus colocou a Wandreia na minha vida. Eu pedi a ela carona até o instituto para aliviar meus gastos, mas ela me ofereceu muito mais. Durante os 4 anos de faculdade morei com ela, sem pagar absolutamente nada, fui tratada como uma filha.

A partir daí, comecei a gostar da pesquisa científica e terminando a faculdade, entrei no mestrado. As dificuldades não pararam por aí, pois imagina uma mulher do interior chegando para morar em uma cidade grande (RJ), não foi fácil, mas em tudo, olhando para trás, vejo a ajuda e o cuidado de Deus.

Depois do mestrado, ingressei no doutorado e aqui estou. Talvez um pouco mais perto de tornar realidade meu sonho de infância, ou talvez Deus tenha outros planos para mim.

## RESUMO

BERNARDO, Cristiany Oliveira. **Elaboração e caracterização físico-química e sensorial de achocolatado em pó formulado com farinha extrudada de sorgo integral**: Seropédica, RJ. 2020. 132p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Instituto de Tecnologia, Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2020.

O sorgo é um cereal sem glúten, cuja cultura resiste ao estresse hídrico, o que pode ser interessante, tendo em vista o cenário previsto de escassez de água mundial. Na forma integral, esse cereal pode apresentar maior teor de compostos fenólicos com capacidade antioxidante, quando comparado a outros cereais. Apesar disso, no Brasil ainda é um cereal utilizado quase exclusivamente para alimentação animal. Sua inserção na dieta dos brasileiros depende do desenvolvimento de novos produtos que atendam às necessidades e preferências do consumidor, por isso a avaliação sensorial é muito importante. Nesse processo, é necessário também avaliar as características tecnológicas para obtenção de um produto bem aceito. O objetivo deste estudo foi elaborar um achocolatado em pó usando como um dos ingredientes a farinha integral de sorgo pré-cozida por extrusão termoplástica (FES) e avaliar os efeitos dos ingredientes, assim como da aglomeração sobre as características físicas e sensoriais desse produto. A tese foi estruturada em quatro capítulos. Foi realizada uma revisão bibliográfica cujos assuntos abordados foram: cereal sorgo, bebidas com cereal, extrusão termoplástica, aglomeração e principais características de instantaneidade no preparo. O achocolatado é um produto viável para a inserção do sorgo na alimentação humana no Brasil, pois é muito consumido pela população brasileira. No entanto, a qualidade desse produto depende das condições de processamento, do tipo de equipamento e ingredientes utilizados. No capítulo 1, seis genótipos de sorgo foram comparados em relação às suas características químicas (após a moagem); características sensoriais e de preparo (após a moagem e a extrusão), assim como foi aplicado um questionário online usando os termos “cereal sorgo” e “bebida de cereal” como estímulos para o método *Word association*. Dentre os genótipos avaliados, BRS305 apresentou maior teor de compostos fenólicos totais, capacidade antioxidante e taninos condensados, enquanto BRS373 e SC319 apresentaram melhores molhabilidade, dispersibilidade e características sensoriais, por isso, foi recomendada a mistura de dois ou mais genótipos. Foi observado pela associação de palavras que os brasileiros não conhecem o sorgo, mas demonstraram boas expectativas em relação a esse cereal, especialmente as pessoas que têm algum tipo de restrição alimentar. No capítulo 2, foram avaliadas aceitação e caracterização sensorial de diferentes formulações de achocolatado em pó contendo FES, assim como o efeito dos parâmetros da aglomeração sobre as características físicas desse achocolatado. Foi observado que houve maior aceitação de achocolatados com maior quantidade de FES, quando as pessoas foram informadas a respeito dos benefícios do sorgo e menor teor de açúcar em relação a alguns achocolatados comerciais. Já a melhor condição de processamento por aglomeração, usando como critério o menor tempo de molhabilidade foi: 394g/min de vazão dos sólidos, 1,6 ( $\times 10^2$  kPa) de pressão do vapor e 74 °C de temperatura do secador. No capítulo 3, quatro maltodextrinas e cinco amidos modificados foram comparados como ingredientes na aglomeração de achocolatados em pó contendo FES, assim como foi proposto uma nova metodologia para analisar a molhabilidade por gota séssil. Dois materiais proporcionaram maior instantaneidade nos achocolatados aglomerados, uma maltodextrina (dextrose equivalente 5) e um amido modificado de mandioca. A aplicação da análise de componentes principais no volume da gota ao longo do tempo descreveu a molhabilidade dos achocolatados. No capítulo 4, foram avaliados os

efeitos da FES, açúcar e maltodextrina sobre as características físicas e sensoriais dos achocolatados em pó. O açúcar afetou positivamente a aceitação sensorial, mas seu aumento contribuiu para obtenção de grânulos acima de 850  $\mu\text{m}$  com forma cilíndrica, que apresentaram maior tempo de dissolução. A farinha de sorgo também contribuiu para o maior tamanho dos granulados. Considerando maior aceitação sensorial, a formulação ótima encontrada pela análise de desejabilidade foi: 20% de FES e 60% de açúcar.

Palavras-chave: aglomeração, transição vítrea, molhabilidade, gota séssil

## ABSTRACT

BERNARDO, Cristiany Oliveira. **Elaboration and physicochemical and sensory characterization of chocolate powder with extruded whole sorghum flour**: Seropédica, RJ. 2020. 132p Thesis (Doctor science in Food Science and Technology). Instituto de Tecnologia, Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2020.

Sorghum is a gluten-free cereal, and sorghum types with colored pericarp and their products may contain higher phenolic compounds levels and antioxidant capacity than others cereals. However, in Brazil, this cereal has been used mainly for animal feed. Their use in the diet of Brazilians requires the development of products that attend the consumer's needs and preferences, for this reason, it is important the sensory evaluation. It is also necessary to evaluate the technological process to obtain an accepted product. The aim of this study was to develop a chocolate powder using pre-cooked whole sorghum flour by thermoplastic extrusion (FES) and to evaluate the effects of the ingredients, as well as agglomeration conditions on the physical and sensory characteristics of this product. This thesis was divided into four chapters. A bibliographic review was carried out, with following subjects: sorghum, cereal drinks, thermoplastic extrusion, agglomeration, and main instantaneous' characteristics. Chocolate powder is a viable product to popularize sorghum in human food in Brazil, due to its high consume by the Brazilian population. However, product quality depends on the processing conditions, type of equipment and ingredients. In chapter 1, six sorghum genotypes were compared regarding their chemical characteristics (after milling); sensory and preparation characteristics (after extruded and milling), as well as an online questionnaire, was applied using the terms “cereal sorghum” and “cereal beverage” as stimuli for the word association method. BRS305 genotype presented highest phenolic compounds, antioxidant capacity, resistant starch and condensed tannin, while BRS373 and SC319 presented best molhabillity, dispersibility and sensory characteristics, therefore it was recommended to mix two or more genotypes. Word association made it clear that Brazilians do not know sorghum; however, they demonstrated good expectations regarding this cereal, especially the people who have some type of food restriction. In chapter 2, acceptance and sensory characterization of different powder chocolate formulated with FES were evaluated, as well as the effect of agglomeration parameters on physical characteristics of this chocolate powder. There were the highest sensory acceptance scores of chocolate powder with FES when people were informed about sorghum benefits and lower sugar content than commercial chocolate powder. The best condition for agglomeration processing, using the shortest wetting time as a criterion, was: 394g / min (flow rate), 1.6 (x10<sup>2</sup> kPa) (vapor pressure) and 74 ° C (drying temperature). In chapter 3, four maltodextrins and five modified starches were compared as ingredients on agglomeration of powdered chocolate containing FES, as well as a new method to analyze wettability was proposed. Maltodextrin (equivalent dextrose 5) and modified cassava starch provided the greatest instantaneity in the agglomerated chocolate powder. Principal component analysis applied to drop volume over time described the wettability of chocolate products. In chapter 4, the effects of FES, sugar, and maltodextrin on physical and sensory characteristics of chocolate powder were evaluated. Sugar positively affected sensory acceptance, but its increase contributed to obtaining granules above 850 µm with a cylindrical shape, which presented a longest dissolution time. FES also contributed to the largest granules size. Considering high sensory acceptance score, the optimal formulation found by desirability function analysis was: 20% FES and 60% sugar.

Keywords: agglomeration, glass transition, wettability, sessile drop

## LISTA DE TABELAS

### Revisão bibliográfica

<b>Tabela 1</b> – Estudo sobre consumo de achocolatado no Brasil....	10
<b>Tabela 2</b> – Exemplos de materiais ligantes usados na aglomeração e a característica do produto final em leite fluidizado.....	18

### CAPÍTULO I

<b>Tabela 1</b> – Propriedades químicas e funcionais de genótipos de sorgo integral e características de preparo de suas farinhas extrudadas.....	42
<b>Tabela 2</b> – Frequência de menção das dimensões e categorias, assim como alguns exemplos de palavras, associações, imagens, pensamentos ou sentimentos obtidos pelo estímulo “cereal sorgo” .....	45
<b>Tabela 3</b> – Frequência de menção das dimensões e categorias, assim como exemplos de palavras, imagens, associações, pensamentos e sentimentos obtidos quando o estímulo foi “bebida de cereal” .....	46
<b>Tabela 4</b> – Resultado de aceitação sensorial e frequência de menção de cada atributo da questão CATA que foram usados para descrever a bebida de sorgo dos seis genótipos.....	49

### CAPÍTULO II

<b>Tabela 1</b> - Proporção de ingredientes no planejamento de misturas simplex-centroid com restrição.....	62
<b>Tabela 2</b> – Planejamento composto central dos parâmetros da aglomeração de achocolatados com sorgo.....	63
<b>Tabela 3</b> – Aceitação sensorial de achocolatado com sorgo não aglomerados: com informação (GI) e sem informação (GNI).....	66
<b>Tabela 4</b> – Efeito dos parâmetros de aglomeração (Pressão de vapor, temperatura de secagem e vazão de sólidos) sobre a molhabilidade e cor dos achocolatados com sorgo aglomerados.....	69

### CAPÍTULO III

<b>Tabela 1</b> – Perfil de viscosidade e UR <sub>g</sub> das maltodextrinas e amidos modificados.....	87
<b>Tabela 2</b> – Resultados de densidade aparente e absoluta dos achocolatados com sorgo formulados com maltodextrina (M05, M10, M14 e M20) e amidos modificados (NF, P87, UC, Pda e Ncr).....	88



<b>Tabela 3</b> – Resultados de tempo de molhabilidade e tempo de dissolução dos achocolatados com sorgo formulados com maltodextrina (M05, M10, M14 e M20) e amidos modificados (NF, P87, UC, Pda e Ncr).....	89
<b>Tabela 4</b> – Frações granulométricas e tempo de dissolução (em log) das respectivas frações obtidas dos achocolatados de sorgo formulados com maltodextrina (M05, M10, M14 e M20) e amidos modificados (NF, P87, UC, Pda e Ncr).....	91
<b>Tabela 5</b> – Composição centesimal dos achocolatados com sorgo formulados com maltodextrina (M05, M10, M14 e M20) e amidos modificados (NF, P87, UC, Pda e Ncr).....	98

#### CAPÍTULO IV

<b>Tabela 1</b> – Proporção de ingredientes no planejamento de misturas simplex-centroid com restrição.....	108
<b>Tabela 2</b> – Tempo de molhabilidade e tempo de dissolução dos achocolatados experimentais e comerciais.....	114
<b>Tabela 3</b> – Densidade das amostra experimentais e amostras comerciais de achocolatados.....	115
<b>Tabela 4</b> – Fração granulométrica e tempo de dissolução de cada fração das amostras de achocolatados experimentais e comerciais.....	117
<b>Tabela 5</b> – Composição centesimal e índice glicêmico das amostras experimentais e comerciais.....	119
<b>Tabela 6</b> - Índice glicêmico das amostras experimentais e comerciais de achocolatado.....	120
<b>Tabela 7</b> – Aceitação sensorial, avaliação da dissolução e da doçura dos achocolatados experimentais e amostras comerciais.....	120
<b>Tabela 8</b> – Modelo matemático das variáveis respostas do planejamento de misturas com restrição.....	123

## LISTA DE FIGURAS

### Revisão bibliográfica

- Figura 1** – Esquema de um leito fluidizado. Adaptado de Petrovick et al. (2006).....12
- Figura 2** – Desenho esquemático do aglomerador com vapor Industrial (I. C. F Industrie Cibec s. p. a.). 1) Tremonha de alimentação; 2) Difusor de vapor e ar quente; 3) Leito vibratório; 4) Secador rotativo; 5) Ciclone; 6) Ventilador; 7) Resistências; 8) Exaustor; 9) Válvula; 10) Classificação em função da distribuição granulométrica. Fonte: Vissotto et al. (2006).....13
- Figura 3** – Mecanismo de aglomeração úmida.....14
- Figura 4** – Esquema de reconstituição dos pós aglomerados. Adaptado de Forny et al. (2011).....15
- Figura 5** – Ilustração de vários tipos de volumes. Retirada e traduzida de Webb (2001).....17
- Figura 6** – Demonstração da zona de pegajosidade em relação à transição vítrea em materiais amorfos. Traduzido para português de Fitzpatrick et al. (2010).....21

### CAPÍTULO I

- Figura 1** – Imagens dos seis genótipos de sorgo estudados.....35
- Figura 2** – Microscopia eletrônica de varredura da Testa (indicado na figura) dos seis genótipos de sorgo.....43
- Figura 3** – Respostas do questionário sócio demográfico aplicado após a análise de WA.....47
- Figura 4**- Representação gráfica das características das bebidas de sorgo na primeira e segunda dimensão de acordo com a análise de correspondência dos dados obtidos pela questão CATA.....48
- Figura 5** – Sabor sugerido pelos consumidores que participaram da análise sensorial das bebidas de sorgo.....50
- Figura 6**- Análise multivariada usando 46 variáveis respostas, correspondentes às propriedades de reidratação, características químicas e respostas sensoriais: a) Círculo de correlação das variáveis respostas; b) mapa de fatores individuais; c) Clusters hierárquicos dos componentes principais da análise multivariada.....51

### CAPÍTULO II

- Figura 1** – a) Desenho esquemático do aglomerador ICF Industrie CIBEC. sendo (1) tremonha de alimentação, (2) sistema aquecido de aspiração de vapor e finos, (3) exaustor, (4) ventilador de ar para o secador rotativo, (5) secador rotativo, (6) difusor de vapor, (7) coletor dos aglomerados, (8) tela inclinada 45°, (9) manômetro de vapor. (Fonte: ICF Industrie

CIBEC s.p.a., Maranello, Itália); b) Foto do aglomerador ICF Industrie CIBEC, patrimônio do ITAL; c) Grelha utilizada na alimentação do pó, com 1,41 mm de abertura.....62

**Figura 2** – Objeto de acrílico utilizado para análise de molhabilidade.....63

**Figura 3** – Etapas da análise de imagens usando Image J. a) Fotografia por microscopia eletrônica de varredura; b) Imagem para cálculo da área do granulado; c) Imagem binária para cálculo da área das partículas (em preto).....64

**Figura 4** – Efeito dos ingredientes sobre aceitação sensorial de achocolatado com sorgo não aglomerado. a), d) Aceitação sensorial todos participantes; b), e) GNI: Grupo sem informação e c), f) GI: Grupo com informação.....67

**Figura 5** – Efeito da informação sobre a aceitação sensorial de achocolatado com sorgo não aglomerado. GNI: Grupo não informado; GI: Grupo informado.....65

**Figura 6** – Gráfico da análise de correspondência (CATA) dos achocolatados não aglomerados: a) Com informação; b) Sem informação.....68

**Figura 7** – Gráfico de Pareto das características físicas dos achocolatados processados com diferentes parâmetros do aglomerador por jato de vapor: a) molhabilidade, b, c, d, e, f, g) características de cor; f) área total de poros da superfície. PV: Pressão de vapor; TS: Temperatura de secagem e VS: Vazão de sólidos.....70

**Figura 8**- Efeito dos parâmetros da aglomeração sobre a molhabilidade (A) e mudança de cor (B) (dE) dos achocolatados com sorgo.....71

**Figure 9** – Imagens binárias dos aglomerados obtidas por MEV e Image J.....72

### CAPÍTULO III

**Figura 1** – Exemplo de cálculo da URg pelo software Universal analysis V4.5A da TA Instruments.....80

**Figura 2** – Software CAM2008 calculando o ângulo de contato e volume de uma gota capturada por fotografia, ao cair no achocolatado em pó.....82

**Figura 3** – Esquema ângulo de contato.....82

**Figura 4** – Perfil higroscópico das maltodextrinas (M05, M10, M14, M20) e amidos modificados (Ncr, NF, Pda, P87 e UC) utilizados na formulação do achocolatado para aglomeração. A) 25°C e B) 50°C.....86

**Figura 5** – Ângulo de contato esquerdo (CA[L]) e direito (CA[R]); Longitude (L); Altura (H) e volume (Vol) ao longo do tempo (20 s) das amostras de achocolatado em pó formuladas com maltodextrina (M05, M10, M14 e M20) e amidos modificados (NF, P87, UC, Pda e Ncr).....92

**Figura 6** – a) ACP do volume da gota ao longo do tempo (molhabilidade) e b) HCPC do ACP (clusters) da amostras de achocolatados em pó formuladas com maltodextrina (M05, M10, M14 e M20) e amidos modificados (NF, P87, UC, Pda e Ncr).....93

**Figura 7** – A) ACP com as variáveis tempo de molhabilidade, tempo de dissolução, frações granulométricas e densidades; B) ACP com as amostras; C) Clusters do ACP (HCPC); D) Correlograma.....95

**Figura 8** – Microestruturas de grânulos dos achocolatados em pó formulados com maltodextrina (M05, M10, M14 e M20) e amidos modificados (NF, P87, UC, Pda e Ncr).....96

**Figura 9** – Scanner dos grânulos de achocolatados em pó formulados com maltodextrina (M05, M10, M14 e M20) e amidos modificados (NF, P87, UC, Pda e Ncr).....97

#### CAPÍTULO IV

**Figura 1** – Imagens de aglomerados de amostras experimentais e comerciais. a) A1; b) A2; c) A3; d) A4; e) A5; f) A6; g) A7; h) A8; i) Comercial; j) Comercial 2; k) Comercial 3; l) A1 (x500).....116

**Figura 2** – Imagens das diferentes frações dos achocolatados (sem sorgo) A1 e (com 40% de sorgo) A3.....118

**Figura 3** – Resultado da análise de imagens: a) PCA das imagens; b) Contribuição das dimensões; c) Cluster hierárquico a partir das componentes principais (HCPC) das imagens das amostras experimentais e comerciais.....122

**Figura 4** – Gráficos de contorno e Pareto referentes às amostras experimentais. A1 e A2) Características de densidade; B1 e B2) Frações granulométricas dos achocolatados (F1, F2, F3, F4).....120

**Figura 5** – Gráficos de contorno e Pareto referentes às amostras experimentais. A1 e A2) Características de instantaneidade; B1 e B2) Sensorial.....121

**Figura 6** – Gráfico de desejabilidade para otimização da formulação de achocolatado contendo FES.....122

## LISTA DE ABREVIACOES E SÍMBOLOS

$\mu\text{L}$	Microlitro
$\mu\text{m}$	Micrometro
$\mu\text{M}$	Micromol
$1 \times 10^2 \text{ kPa}$	Equivalente a 1 bar
a*	Coordenada vermelho/verde
AACC	American Association of Cereal Chemists
ABTS	2,2'-azinobis, 3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfnico
ACP	Análise de componentes principais
AGU	Concentração para hidrolisar 1 micromol de maltose por minuto
AMG	Amiloglucosidase
AMV	Análise multivariada
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
AOAC	Official Agricultural Chemists
AOCS	American Oil Chemists Society
APS	rea de poros na superfície
AR	Amido resistente
AS	Aceitação sensorial
AUC	rea sob a curva
b*	Coordenada azul/amarelo
C*	ndice chroma
CA	Capacidade antioxidante
CATA	Check-all-that-apply
CFT	Compostos fenólicos totais
CG	Carga glicêmica
cP	Centipoise
DA	Densidade absoluta
DAP	Densidade aparente
DB	Dispersibilidade
DE	Equivalente de dextrose
DPPH	2,2-difenil-1-picril-hidrazil
DS	Doçura sensorial
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
FAOSTAT	Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database
FES	Farinha extrudada de sorgo
FR	Grupo com restrição alimentar
GAE	mg de ácido gálico equivalentes
GI	Grupo informado
GNI	Grupo não informado
HCl	cido clorídrico
HCl	cido clorídrico

HCPC	Cluster hierárquico dos componentes principais
IGE	Índice glicêmico estimado
IH	Índice de hidrólise
KCl	Cloreto de potássio
L*	Luminosidade (coordenada da escala CIELAB)
M	Concentração molar
MB	Molhabilidade
MEV	Microscopia eletrônica de varredura
Mg	Miligrama
mgCE/100 g	Miligramas de catequina por 100 g de amostra
Min	Minutos
mL	Mililitro
NFR	Grupo sem restrição alimentar
Nm	Nanômetro
PI	Produto ideal
R <sup>2</sup>	Coefficiente de determinação
Rpm	Rotações por minuto
S	Segundos
SS	Solubilidade sensorial
TBD	Densidade após bater
TC	Taninos condensados
TEAC	Capacidade equivalente ao trolox
Tg	Transição vítrea
UI	Unidade internacional
Urg	Umidade relativa para Tg
VP	Volume de poros
WA	Associação de palavras (Word Association)
X <sup>2</sup>	Qui-quadrado

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>3</b>
1 INTRODUÇÃO.....	4
2 METODOLOGIA .....	5
3 REVISÃO DE LITERATURA .....	5
3.1 Cereal Sorgo ( <i>Sorghum bicolor</i> ).....	5
3.2 Desenvolvimento de novos produtos.....	7
3.3 Bebidas Com Cereal .....	8
3.4 Extrusão Termoplástica .....	9
3.5 Aglomeração Para Melhorar Características De Instantaneidade .....	10
3.6 Principais Características para Instantaneidade no Preparo de Alimentos em Pó.....	15
3.6.1 Molhabilidade, dispersibilidade e solubilidade .....	15
3.7 Efeitos das Características Ingredientes Ligantes Sobre o Produto Aglomerado .....	18
3 CONCLUSÃO.....	20
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	22
<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>31</b>
RESUMO .....	32
ABSTRACT .....	33
1 INTRODUÇÃO.....	34
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	35
2.1 Materiais .....	35
2.2 Estudo 1 – Obtenção da Farinha Extrudada de Sorgo Integral para a Formulações de Bebidas .....	36
2.3 Estudo 2 - Percepção do Consumidor Sobre Sorgo e Bebidas de Cereais e Avaliação Sensorial de Bebidas de Sorgo .....	39
2.4.1 Estudo de associação de palavras .....	40
2.4.2 Questão CATA .....	40
2.4.3 Análise multivariada.....	40
2.4.4 Softwares .....	41
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	41
3.1 Características Químicas da Matéria-Prima .....	41
3.2 Características de Instantaneidade.....	43
3.3 Percepção do Consumidor em Relação ao Sorgo e à Bebida de Cereal.....	44
3.4 Aceitação Sensorial e Caracterização das Bebidas de Sorgo Integral.....	47
3.5 Resultados da Análise Multivariada .....	50
4 CONCLUSÃO.....	51
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	53
<b>CAPÍTULO II</b> .....	<b>57</b>
RESUMO .....	58
ABSTRACT .....	59
1 INTRODUÇÃO.....	60
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	61
2.1 Materiais .....	61
2.2 Processamento Por Extrusão .....	61
2.3 Formulação e Caracterização Sensorial.....	61
2.4 Processamento por Aglomeração .....	62
2.5 Molhabilidade .....	63
2.7 Análise de cor .....	64
2.8 Análises estatísticas .....	64

2.8.1 Desenho experimental para a mistura.....	65
2.8.2 Planejamento composto central.....	65
2.8.3 Aplicação do teste Q de Cochran para o <i>Check all that Apply</i> (CATA).....	65
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>65</b>
3.1 Efeito da informação a respeito do sorgo e do teor de açúcar sobre a aceitação sensorial	65
3.2 Parâmetros da aglomeração afetam algumas características físicas de achocolatados com sorgo .....	67
<b>4 CONCLUSÃO</b> .....	<b>72</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>73</b>
<b>CAPÍTULO III</b> .....	<b>75</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>76</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>77</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>78</b>
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>79</b>
2.1 Materiais .....	79
2.2 Análises Físicas dos Amidos Modificados e Maltodextrinas.....	79
2.3 Obtenção da Farinha Extrudada de sorgo.....	81
2.4 Formulação dos Achocolatados e Aglomeração por Jato de Vapor.....	81
2.5 Avaliação dos Achocolatados.....	81
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>84</b>
3.1 Higroscopicidade e Propriedades de pasta dos Amidos Modificados e Maltodextrinas ....	84
3.2 Efeitos das Maltodextrinas e Amidos Modificados Sobre as Características dos Achocolatados com Sorgo .....	87
<b>4 CONCLUSÃO</b> .....	<b>98</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>99</b>
<b>CAPÍTULO IV</b> .....	<b>103</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>104</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>105</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>106</b>
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>107</b>
2.1 Materiais .....	107
2.2 Obtenção da Farinha Extrudada de Sorgo .....	107
2.3 Formulação dos Achocolatados e Aglomeração por Jato de Vapor.....	107
2.4 Avaliação dos achocolatados.....	108
2.5 Análises Estatísticas .....	111
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>112</b>
3.1 Características Físicas e Químicas .....	112
3.2 Avaliação Sensorial .....	120
3.3 Efeito dos Ingredientes sobre as Características dos Achocolatados .....	121
<b>4 CONCLUSÃO</b> .....	<b>126</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>128</b>
<b>CONCLUSÕES GERAIS</b> .....	<b>131</b>
<b>SUGESTÕES E RECOMENDAÇÕES</b> .....	<b>132</b>



## INTRODUÇÃO

### **Justificativa**

Existe uma preocupação mundial em relação à escassez de água e a intensificação do aquecimento global, ambos gerados pela intervenção humana na natureza, como pela intensificação da produção agrícola nas últimas décadas, por exemplo. Uma das estratégias discutidas pela FAO é a seleção de culturas resistentes à escassez de água. Frente a esse cenário de preocupação mundial, o sorgo tem sido considerado uma cultura promissora, pois resiste ao estresse hídrico, além de apresentar baixo custo de produção e outras características nutricionais pelas quais esse cereal tem ganhado atenção.

O sorgo, um cereal sem glúten, considerado o quinto mais importante do mundo, se destaca pela grande diversidade de genótipos, dentre os quais, alguns apresentam alta quantidade de compostos bioativos, tais como taninos, ácidos fenólicos, antocianinas, fitoesteróis e policosanóis, que estão presentes principalmente no pericarpo do grão, algum desses mais precisamente na camada chamada Testa, localizada entre a aleurona e o endocarpo. Esses compostos têm sido correlacionados à capacidade antioxidante e ao menor valor de índice glicêmico em alguns genótipos.

Apesar de todas essas características que despertam interesse por esse cereal, no Brasil, assim como acontece em outros países, o sorgo produzido é destinado principalmente à alimentação animal e sua produção se concentra principalmente na região centro-oeste, seguida de sudeste e sul.

Recentemente, alguns produtos com sorgo começaram a ser desenvolvidos no Brasil com objetivo de inseri-lo na alimentação humana. No desenvolvimento de um novo produto, é importante o uso da análise sensorial para nortear as decisões. Outra possível estratégia é inserir a partir de um produto já conhecido pela população. Dentre os produtos com sorgo já desenvolvidos por brasileiros estão: snacks extrudados, bebida energética, cookies, barras de cereal e cereal matinal. Não foi encontrado nenhum estudo que avaliou a farinha de sorgo integral pré-cozida como ingrediente de um achocolatado.

O achocolatado é um produto bastante consumido pelos brasileiros e recentemente as indústrias têm adicionado cereais a esse produto, para agregar valor nutricional. Esse produto geralmente passa por um processamento chamado aglomeração para melhorar suas características de preparo. A aglomeração, para esse fim, é de forma simplista, o agrupamento de partículas, do alimento em pó, por meio de vapor ou aspersão de uma solução ligante em leite fluidizado. Essa aglomeração entre as partículas diminuem, por exemplo, o tempo de dissolução desses alimentos.

Os ingredientes da mistura a ser aglomerada, principalmente na aglomeração por jato de vapor, influenciam diretamente nas características do produto final. Vários ingredientes já foram estudados como sacarose, maltodextrinas, óleo, lecitina. No entanto, não foram encontrados estudos que avaliaram o efeito da farinha pré-cozida de nenhum cereal sobre a aglomeração e conseqüentemente sobre as características do produto.

### **Objetivos**

Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo elaborar um achocolatado em pó utilizando como ingrediente a farinha integral de sorgo extrudada e avaliar suas características físico-químicas e sensoriais. Os objetivos específicos foram:

- 1) Conhecer a percepção do consumidor brasileiro em relação ao sorgo para a alimentação humana;
- 2) Avaliar e escolher genótipos de sorgo para serem usados como ingrediente no preparo de bebidas instantâneas;

3) Avaliar a farinha integral extrudada de sorgo como ingrediente no processamento por aglomeração de vapor a jato e seus efeitos sobre a aceitação sensorial e a instantaneidade do achocolatado;

4) Avaliar o efeito de diferentes maltodextrinas e amidos modificados sobre a aglomeração e as características do achocolatado em pó com farinha integral extrudada de sorgo

5) Otimizar parâmetros da aglomeração para produção do achocolatado em pó com farinha extrudada de sorgo;

6) Otimizar uma formulação considerando a aceitação sensorial

### Estrutura da tese

Capítulo	Título	Objetivo
	Revisão bibliográfica	Fazer uma revisão dos principais assuntos relacionados à tese
1	Impacto dos genótipos de sorgo extrudados sobre a instantaneidade e características sensoriais de bebidas em pó e a percepção dos consumidores brasileiros sobre sorgo e bebida de cereal usando associação de palavras	Avaliar e escolher genótipos de sorgo de acordo com suas propriedades químicas e instantaneidade e sensorial após extrusão
2	Achocolatado com farinha pré-cozida de sorgo integral: Otimização da formulação e dos parâmetros da aglomeração	Otimizar parâmetros da aglomeração
3	Efeito de maltodextrinas e amidos modificados sobre as características físicas de achocolatado com farinha pré-cozida de sorgo	Avaliar diferentes amidos e maltodextrinas sobre as características de preparo de achocolatado com sorgo. Escolher um desses materiais a partir dos resultados
4	Efeito da farinha integral pré-cozida de sorgo, açúcar e maltodextrina nas características físicas, químicas e sensoriais de achocolatados em pó	Avaliar o efeito da farinha de sorgo extrudada, a sacarose e a maltodextrina assim como a interação entre elas sobre as características de preparo de achocolatados aglomerados.

---

## **REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

---

## 1 INTRODUÇÃO

Uma das preocupações mundiais é a escassez de água, resultado da intervenção humana na natureza, que já ocorre em alguns países e tende a crescer, juntamente com o aquecimento, principalmente em países desenvolvidos. A agricultura é o setor de maior consumo de água, por isso uma das medidas da FAO é a seleção de culturas resistentes à escassez de água. Nesse sentido, o sorgo é um cereal cuja cultura é promissora, pois apresenta resistência ao estresse hídrico (FAO, 2019).

O sorgo tem sido também destacado por conter compostos bioativos como taninos, ácidos fenólicos, antocianinas, fitoesteróis e policosanóis. Esses compostos estão presentes principalmente no pericarpo do grão, de diferentes cultivares (AWIKA ; ROONEY, 2004; DYKES ; ROONEY, 2006), por isso tem sido incentivado seu consumo integral. Além disso, pode apresentar, segundo a característica da cultivar, baixo índice glicêmico (MORAES et al., 2015), uma característica interessante considerando o aumento da obesidade em países desenvolvidos e em alguns subdesenvolvidos.

Apesar dessas vantagens o sorgo ainda é um alimento subutilizado na maioria dos países. No Brasil, por exemplo, a maior parte da produção é destinada à alimentação animal (TAYLOR et al., 2006). Por isso, novos produtos devem ser desenvolvidos a fim de inseri-lo na alimentação dos brasileiros. Para isso, algumas tendências devem ser consideradas como a sensorialidade (CHÁVEZ et al., 2018), assim como o prazer, a saudabilidade, a conveniência e a praticidade segundo *Brasil Food Trends 2020* (VIALTA et al., 2010). Um alimento instantâneo com características funcionais pode atender a esses requisitos, pois exigem pouco tempo e esforço para o preparo (CHARUNUCH et al., 2008).

Dentro dessa categoria de alimentos instantâneos, o achocolatado em pó é um produto muito consumido por brasileiros, por isso seria um excelente meio para propagar a inserção do sorgo na alimentação brasileira. Além disso, esse produto já tem sido adicionado de cereais ou extrato de cereais como um apelo nutricional ao consumidor, feito pelas marcas fabricantes do Brasil.

Para inserir a farinha de sorgo no achocolatado, ela deve estar pronta para o consumo, na forma de farinha pré-cozida. Para esse pré-cozimento, a extrusão é uma alternativa de cozimento que utiliza altas temperaturas e curto período de tempo. Durante o processo de extrusão termoplástica, os grânulos de amido são cisalhados e se fragmentam, diminuindo assim a cristalinidade. Ao resfriar esse amido ocorre o processo de retrogradação, no qual pode haver a formação de amido resistente, principalmente pela formação de complexos amilose-lipídeos, o que depende dos parâmetros do processo e da matéria prima utilizada. Essa redução da digestibilidade do amido pela retrogradação pode refletir na redução do índice glicêmico (NAYAK et al., 2014).

Os pós achocolatados são produtos de fácil dissolução (instantâneos) e geralmente passam pelo processo de aglomeração para melhorar suas características de instantaneidade. Entretanto, dentre todos os processos de aglomeração existentes, nem todos são adequados para a obtenção de boas propriedades instantâneas (KYAW HLA ; HOGKAMP, 1999). A aglomeração úmida é a mais eficiente para produzir alimentos instantâneos. Por essa razão, nesse estudo, foi dada ênfase na aglomeração úmida.

A aglomeração é um fenômeno físico, causado por condições específicas de processamento ou por aglutinantes, que promovem a aderência de sólidos particulados, causado por forças físicas ou químicas entre as próprias partículas (PIETSCH, 1999), aumentando assim a capilaridade do pó, ou seja, a quantidade de canais para melhor penetração do líquido no qual está sendo disperso. Além disso, a aglomeração contribui para redução de finos, isto é, partículas muito pequenas que possuem maior dificuldade de

reidratação. Já o uso de surfactante também pode diminuir a tensão superficial entre a água e os pós. Ji et al. (2017) concluíram que a utilização de lecitina (2 ou 5%) em pós de proteína do soro de leite, durante a aglomeração por leite fluidizado, foram os tratamentos que apresentaram melhor resultado de reconstituição.

Alguns produtos têm sido desenvolvidos, pensando na inserção do sorgo no Brasil, como cookies (SOARES et al., 2019), bebidas (QUEIROZ et al., 2018), misturas com café (CHÁVEZ et al., 2017) e *snacks* (VARGAS-SOLÓRZANO et al., 2014). Entretanto, não foram encontrados estudos avaliando a utilização de sorgo como ingrediente em achocolatados, assim como não foi encontrada uma revisão detalhada em relação ao efeito de ingredientes sobre as características dos aglomerados. Por essa razão, o objetivo dessa revisão estudo foi apresentar os principais assuntos referentes ao desenvolvimento de um achocolatado contendo farinha de sorgo integral, dentre eles as implicações tecnológicas para tornar esse produto instantâneo.

## 2 METODOLOGIA

Os artigos foram pesquisados nos bancos de dados, *Scholar Google* e *Scopus*, no período de publicação entre 1980 e 2020. As palavras-chave empregadas foram: *Sorghum*, *termoplastic extrusion*, *sorghum beverage*, *cocoa beverage*, *agglomeration and food, glass transition*, *wettability* e *food powder*.

A pesquisa online sobre achocolatado foi realizada por meio de um formulário Google (<https://docs.google.com/>). Os participantes foram convidados pelas redes sociais, *Facebook*, *Instagram* e *Whatsapp* a responderem um questionário socioeconômico e perguntas sobre o consumo e frequência de achocolatado em pó.

## 3 REVISÃO DE LITERATURA

### 3.1 Cereal Sorgo (*Sorghum bicolor*)

A produção mundial do sorgo começou a crescer na década de 60 e atingiu seu auge em 1985 com 77,5 milhões de toneladas produzidas no mundo. Em 1999, o sorgo foi considerado o quinto cereal mais importante do mundo pela FAO, depois do arroz, trigo, milho e cevada, por ter sido na época o principal grão alimentar de mais de 750 milhões de pessoas que viviam nos trópicos semiáridos da África, Ásia e América Latina. Em 2018, sua produção mundial foi de 59 milhões de toneladas, sendo o Brasil o sétimo maior produtor com 2,2 milhões de toneladas, ficando atrás apenas do EUA, Nigéria, Sudão, Etiópia, Índia e México (FAOSTAT, 2018).

O sorgo é um cereal, cuja cultura é resistente às condições de estresse hídrico, o que o torna importante diante das mudanças climáticas, redução do abastecimento de água e aumento da população mundial (ICRISAT, 1996). Outro fator importante a ser considerado em relação ao sorgo é a seleção de novos genótipos mais resistentes ao estresse hídrico, que quando aliado às práticas de cultivo adequadas possibilita alta produção desse grão (ARE et al., 2011).

A composição nutricional do sorgo varia entre os genótipos, Queiroz et al. (2015) analisaram 100 genótipos de sorgo e observaram alta variabilidade de carboidratos (55,2–75,2%), proteínas (8,6–18,9%), lipídios (1,7–4,9%), fibras (9,3–25,2%), cinzas (1,1–2,4%) e relataram que o estresse hídrico é um dos fatores que pode contribuir para essas variações.

Além dos principais nutrientes, o sorgo tem ganhado interesse por conter compostos bioativos como taninos, ácidos fenólicos, antocianinas, fitoesteróis e policosanóis, os quais estão presentes principalmente no pericarpo do grão e variam de acordo com o genótipo (AWIKA ; ROONEY, 2004; DYKES ; ROONEY, 2006). O sorgo possui maior quantidade

desses compostos, quando comparado a outros cereais, isso porque esses compostos bioativos servem como defesa química contra pássaros e patógenos, uma vez que, o sorgo não possui proteção física para suas sementes como a palha do milho ou a gluma do trigo, por exemplo (MAGALHÃES ; DURÃES, 2003). Esses compostos têm sido correlacionados com a capacidade antioxidante do sorgo (AWIKA et al., 2003; AWIKA ; ROONEY, 2004).

Os autores Dikes et al. (2005) acreditam que a capacidade antioxidante do sorgo é proveniente principalmente da espessura do pericarpo, que segundo esses autores, é rico em fenóis. Já a quantidade de taninos, os quais também possuem capacidade antioxidante, tem sido correlacionada com a presença da testa, uma camada localizada entre a camada aleurona e o endocarpo (AWIKA ; ROONEY, 2004; CHENG et al., 2009). Por esse fato, o consumo de produtos elaborados com sorgo integral deve ser incentivado, pois além de ter boa aceitação sensorial, é uma fonte de compostos bioativos que podem promover benefícios para a saúde humana (ANUNCIAÇÃO et al., 2017). No estudo de Jensen et al. (2004), por exemplo, foi constatada correlação inversa entre a ingestão de grãos inteiros e a incidência de doença cardíaca em pessoas do sexo masculino.

Outra vantagem do sorgo é a segurança de seu consumo por portadores da doença celíaca. No entanto, ainda existe uma preocupação sobre a possibilidade de usá-lo como fonte de alimento para celíacos devido à baixa digestibilidade de suas proteínas, causada pela presença de taninos condensados (PONTIERI et al., 2013). Os taninos formam complexos com essas proteínas, por meio de múltiplas ligações de hidrogênio entre o grupo hidroxila dos taninos e o grupo carbonila das proteínas (NIKMARAM et al., 2017).

As principais proteínas presentes no grão do sorgo são as kafirinas classificadas como prolaminas e as albuminas, globulinas e glutelinas que são não-prolaminas. As kafirinas possuem grande importância econômica, uma vez que são importante fonte biológica de nitrogênio e uma fonte renovável de aminoácidos essenciais tanto para dietas humanas, quanto para dietas de animais (PONTIERI et al., 2013).

Apesar de causar menor digestibilidade às proteínas do sorgo, os taninos além de apresentarem capacidade antioxidante, são considerados redutores da disponibilidade de calorias e, portanto, os animais não ganham peso. Esta característica pode ajudar no controle da obesidade em seres humanos. Em algumas culturas africanas, os sorgos com tanino são preferidos na produção de mingau, porque os trabalhadores do campo relatam obter maior saciedade após sua ingestão (AWIKA; ROONEY, 2004). Por essa razão o sorgo pode ser um importante cereal na alimentação brasileira, tendo em vista o aumento de 67,8% dos índices de obesidade entre 2006 e 2018 publicado pelo Ministério da Saúde em 2019 .

Outro motivo pelo qual o sorgo pode contribuir para redução da obesidade é o fato de apresentar alto teor de amido resistente em alguns genótipos, devido à síntese e secreção de leptina e adiponectina, assim como a melhora da microbiota intestinal (SHEN et al., 2015). Teixeira et al. (2016) analisaram 49 genótipos de sorgo e encontraram de 0,31 a 65,65 (g/100g) de amido resistente. Apesar disso, os autores observaram que o calor, principalmente calor úmido levou à redução desses compostos na farinha.

No estudo de Moraes et al. (2015), é possível observar que o alto teor de fibras e compostos fenólicos pode estar relacionado ao menor índice glicêmico em alguns genótipos de sorgo, no entanto, o teor de amido resistente pelo contrário não apresentou nenhuma correlação com o índice glicêmico.

Apesar de todas essas características e possibilidades, o sorgo ainda é subutilizado na maioria dos países desenvolvidos e em alguns subdesenvolvidos. Na Austrália, Estados Unidos e Brasil, o sorgo é usado principalmente para a produção de rações animais. Em contrapartida, é produzido e muito utilizado para consumo humano na África, Ásia e outras regiões semiáridas do mundo (TAYLOR et al., 2006), onde as condições climáticas dificultam a produção de outros cereais. No Brasil, alguns estudos têm sido realizados para o

desenvolvimento de novos produtos a base de sorgo para alimentação humana, nos quais são destacados principalmente o valor nutricional de alguns genótipos (QUEIROZ et al., 2010; MORAES et al., 2012; VARGAS-SOLÓRZANO et al., 2014; CARDOSO et al., 2015; CHÁVEZ et al., 2017; DA VEIGA CORREIA et al., 2017).

### **3.2 Desenvolvimento de novos produtos**

No desenvolvimento de novos produtos, a ciência sensorial desempenha um papel importante para obtenção de maior sucesso no resultado final (SALDAÑA et al., 2021).

Segundo Horvat et al. (2019), nas últimas décadas, as indústrias têm aplicado uma abordagem liderada pelo consumidor no desenvolvimento de produtos para projetar com maior sucesso. No entanto, as taxas de insucesso continuam sendo altas, o que está relacionado principalmente com a falta do maior envolvimento do consumidor no processo de desenvolvimento (ASIOLI *et al.*, 2017). De acordo com Horvat et al. (2019), as empresas poderiam empregar um nível ainda mais alto de envolvimento do consumidor no desenvolvimento de novos produtos (DNP), com vários métodos para descobrir as necessidades latentes e existentes do consumidor. No estudo de Busse e Siebert (2017), os autores analisaram o nível de interação do consumidor em processos de inovação em alimentos relatados na literatura científica e concluíram que o papel do consumidor ainda parece bastante passivo no DNP. Considerando então essa necessidade de projetar produtos que atendam aos consumidores, torna-se essencial identificar e entender as necessidades e preferências dos consumidores em relação aos alimentos.

Nesse sentido, a ciência sensorial se torna importante porque possui métodos que podem nortear o DNP baseado no consumidor (SALDAÑA et al., 2021). Alguns estudos já utilizam o consumidor em metodologias que visam não só a avaliação hedônica de produtos, como também a caracterização sensorial, por exemplo.

O interesse em metodologias baseadas no consumidor aumentou na última década (ARES e JAEGER, 2013; ARES e JAEGER, 2015). Avaliar as características sensoriais utilizando o consumidor tem ganhado seu espaço e sendo cada vez mais utilizado não só no desenvolvimento de novos produtos, como também na otimização de processos e no conhecimento sobre a vida útil do alimento. (LAWLESS e HEYMANN, 2010; ARES e VARELA, 2018).

Embora a análise descritiva (AD) seja o método estabelecido e confiável para descrever produtos alimentícios (KEMP, 2018), é um método que demanda maior tempo e custo, pois há necessidade de treinamento dos provadores. Por essa razão nos últimos anos, outros métodos têm sido utilizados com as mesmas finalidades, de descrever amostras, com menor demanda de tempo, menor custo para aplicá-las e utilizando o consumidor para nortear o desenvolvimento. Outra vantagem dessas metodologias baseadas no consumidor é a obtenção de uma caracterização do produto feita diretamente de quem serão os potenciais consumidores desse produto (SALDAÑA et al., 2021). Dentre essas metodologias, destaca-se o *Check-all-that-apply* (CATA).

#### *Check-all-that-apply (CATA)*

O CATA é uma metodologia recente na ciência sensorial aplicada a alimentos, mas possibilita caracterizar a amostra de forma confiável, além da menor demanda de tempo comparado à AD, gerada por painel treinado ( JAEGER *et al.*, 2020). Nessa metodologia, alguns termos são previamente levantados e apresentados em forma de lista para os consumidores. Esses consumidores são convidados a apontar dentre esses termos os que melhor descrevem o produto (ARES e JAEGER, 2015).

Essa caracterização por meio do CATA permite identificar as características que afetam a aceitação do produto, por meio de correlação dessa caracterização com dados

hedônicos (ARES e VARELA, 2017). Isso contribui direcionando mudanças ao longo do desenvolvimento, que podem ser feitas a fim de aumentar a aceitação do produto.

Além de identificar aspectos sensoriais que podem contribuir ou afetar a aceitação do produto é importante considerar o produto como um todo. Nesse sentido é importante também compreender a percepção dos consumidores em relação a um novo produto, alimento ou conceito para encontrar direcionadores que resultem no aumento da satisfação e aceitação dos consumidores para aquele produto (DELIZA, 2018). Dentre as metodologias usadas para conhecer essa percepção do consumidor, destaca-se a associação de palavras.

#### *Associação de palavras*

A associação de palavras é um método qualitativo que atualmente tem sido o mais utilizado para conhecer a percepção dos consumidores em relação aos alimentos (GAMBARO, 2018). Essa metodologia teve origem na sociologia e psicologia, muito utilizada nessas áreas da ciência principalmente para estudar crenças ou atitudes relacionadas ao comportamento humano (DOISE, CLEMENCE e LORENZI-CIOLDI, 1993). Esta metodologia baseia-se no pressuposto de que dar um estímulo a uma pessoa e pedir-lhe que associe livremente as ideias que lhe vêm à cabeça pode dar um acesso relativamente irrestrito às representações mentais do estímulo. Quando relacionamos isso a alimentos, entende-se que as associações que primeiro vêm à mente dos entrevistados podem ser as mais relevantes para as decisões dos consumidores relacionadas à compra do produto (ARES e DELIZA, 2010; GAMBARO, 2018). De acordo com os autores Wagner, Valencia e Elejabarrieta (1996), as associações feitas de forma espontânea nesse método são sujeitas a menos restrições quando comparado às respostas obtidas em questionários fechados.

Nessa metodologia os estímulos são apresentados aos entrevistados, com a instrução: “Por favor, escreva as quatro primeiras palavras, imagens, associações, pensamentos ou sentimentos que vêm à sua mente quando você pensa...”. Os estímulos podem ser apresentados como imagens do produto, palavras, conceitos ou descrições. A análise dos dados obtidos é feita por diferentes pesquisadores, geralmente 3, pelo método de triangulação, nessa etapa há a desvantagem do método que consiste na complexidade do agrupamento das palavras, devido à subjetividade dos termos utilizados pelos consumidores (DONOGHUE, 2000).

### **3.3 Bebidas Com Cereal**

As bebidas à base ou contendo cereais têm um enorme potencial como alimento funcional. Elas podem servir como transportadores de compostos funcionais, tais como antioxidantes, fibras alimentares, minerais, probióticos e vitaminas (KREISZ et al., 2008). Além de bebidas alcólicas, os cereais têm sido utilizados para produção de bebidas fermentadas não alcólicas, leites vegetais e bebidas não fermentadas.

O *gowé* é uma bebida maltada e fermentada, muito consumida em Benin, região ocidental da África, geralmente desenvolvida com sorgo e/ou milho (ADINSI et al., 2017). Na Nigéria é também comum o consumo de bebidas fermentadas à base de cereais, *Kunu-zaki*, por exemplo, é uma bebida fermentada não alcólica que pode ser produzida com um ou mais cereais, sendo eles, milho, milheto e sorgo. Já o *Pito*, bebida comum também na Nigéria e em Ghana, pode conter um baixo teor alcoólico por ser produzido com uma única fermentação de sorgo maltado (EZEKIEL et al., 2015). Na Espanha, é produzido e comercializado “leite vegetal” de sorgo, pela empresa IsolaBio (<http://isolabio.com/it>), outros cereais como arroz e aveia também já são utilizados para esse fim.

Já no Brasil, bebidas fermentadas a base de cereais não são normalmente consumidas. Entretanto, são encontradas bebidas de cereais, não fermentadas, sejam elas com sabor ou como alternativa ao leite. A Nestlé® lançou a linha Nesfit em 2015, nessa linha já são



produzidas e comercializadas duas bebidas de cereal integral, arroz e aveia (<https://www.nestle.com.br/nesfit/>).

Os achocolatados também já têm sido formulados com cereal, em 2018 a Quaker® Oats Company lançou no mercado brasileiro um achocolatado com aveia, no entanto em 2019 esse produto não foi encontrado no mercado. No Brasil, assim como em outros países esses produtos apresentam cerca de 80% de açúcar em sua formulação (KYAW HLA; HOGEKAMP, 1999; VISSOTTO, 2014). O uso de cereal nesse produto poderia ser uma estratégia para agregar valor e aumentar o apelo nutricional. Em 2019 a Nestlé® lançou o Nescau Max Cereal, o qual não é adicionado de açúcar, porém é feito com “extrato” de cereais, malte e cevada e não por cereais integrais.

Além disso, os achocolatados poderiam ser um meio de inserir o sorgo na alimentação brasileira, pois são produtos muito consumidos. A Tabela 1 mostra as respostas do questionário online em relação ao consumo de achocolatado. Nessa pesquisa, 69,3% das pessoas disseram que consome achocolatado em pó. Dentre estas pessoas, 19% disseram que consome frequentemente e 17% diariamente. A maioria dos adultos que disseram que consomem é jovem (58,13%) entre 18 e 25 anos e 60,98 % dos que consomem tem renda familiar mensal abaixo de 5 salários mínimos.

### **3.4 Extrusão Termoplástica**

A extrusão é um dos segmentos mais crescente na indústria de alimentos e, durante anos, tem se destacado no desenvolvimento de produtos novos, criativos e práticos. O cozimento por extrusão produz uma ampla variedade de produtos prontos para o consumo a partir de matérias-primas baratas e baixo custo de processamento (ALAM et al., 2015).

Essa tecnologia envolve alta temperatura, alta pressão e curto período de tempo, em que a matéria-prima é exposta ao cisalhamento mecânico. As modificações que ocorrem durante a extrusão são influenciadas pelas variáveis que estão relacionadas à extrusora e à matéria-prima (LAI; KOKINI, 1991). Algumas dessas variáveis podem ser: perfil granulométrico da amostra, taxa de alimentação, teor de umidade e composição da amostra, temperatura das diferentes zonas do(s) parafusos da extrusora, assim como configuração, velocidade do(s) parafuso(s) e vazão de sólidos. A combinação de diferentes níveis dessas variáveis permite a utilização da extrusão para cozinhar, formar, misturar, texturizar e moldar produtos alimentícios (ALAM et al., 2015).

Vários produtos podem ser desenvolvidos por extrusão, como macarrão, cereais matinais, snacks, pelets, alimentos para bebês, itens de confeitaria, goma de mascar, proteína vegetal texturizada, amido modificado, rações animais, sopas, mingau e bebidas (ALAM et al., 2015).

Algumas bebidas de cereais combinadas ou não com outros vegetais têm sido desenvolvidas utilizando a extrusão. Entretanto, apesar de algumas serem intituladas erroneamente como instantâneas, poucos autores avaliaram as características de instantaneização do pó e a aceitação sensorial dessas bebidas preparadas (LEE et al., 1988; CHARUNUCH et al., 2003; CHARUNUCH et al., 2008). Obilana et al. (2014), por exemplo, avaliaram os efeitos da maltagem, extrusão e uma combinação de ambos os processos sobre as propriedades físicas e funcionais de pó instantâneo à base de milho perolado, no entanto, não realizaram testes para comprovar a instantaneidade desse pó.

**Tabela 1** – Estudo sobre o consumo de achocolatado no Brasil

<b>Categoria</b>	<b>Número de respostas</b>	<b>Respostas (%)</b>
<b>Total de respostas</b>	355	
Adultos que consomem	246	69,30
Adultos que não consomem	109	30,70
<b><i>Características dos adultos que consomem:</i></b>	n=246 (69,30%)	
<b>Frequência de consumo</b>		
Raramente	64	26,02
Às vezes	92	37,40
Frequentemente	48	19,51
Diariamente	42	17,07
<b>Faixa etária</b>		
18 - 25	143	58,13
26-35	72	29,27
36-45	14	5,69
46-55	12	4,88
56-65	4	1,63
>65	1	0,41
<b>Sexo</b>		
Feminino	159	64,63
Masculino	87	35,37
<b>Renda Familiar Mensal</b>		
R\$ 937,00 até 4.685,00	150	60,98
> R\$ 4.685,00 até 9.370,00	56	22,76
> R\$ 9.370,00 até 18.740,00	31	12,60
> R\$ 18.740,00 até 28.110,00	5	2,03
> R\$ 28.110,00	4	1,63

As características físicas e químicas dos produtos acabados são fatores que dependem das variáveis do processamento. Dependendo dos parâmetros utilizados na extrusão, pode haver redução de fatores antinutricionais, como taninos condensados e, conseqüentemente, aumento da digestibilidade de proteína (OBIANG-OBOUNOU; RYU, 2013; NIKMARAM et al., 2017). Por outro lado, tem sido reportado que a extrusão pode aumentar a biodisponibilidade de catequina, apesar de não estar claro o mecanismo responsável por essa melhor absorção no organismo (GU et al., 2008; BRENNAN et al., 2011). A extrusão também pode liberar outros compostos bioativos, aumentando assim a capacidade antioxidante, que proporcionam benefícios para a saúde (CHÁVEZ et al., 2017).

Durante o processo de extrusão termoplástica, os grânulos de amido são cisalhados e se fragmentam, diminuindo assim a cristalinidade e levando à retrogradação com formação de complexação de amilose com lipídio, no qual pode contribuir à formação de amido resistente. Essa redução da digestibilidade do amido pela retrogradação pode refletir na redução do índice glicêmico (NAYAK et al., 2014).

### **3.5 Aglomeração Para Melhorar Características De Instantaneidade**

Uma grande quantidade de produtos têm sido desenvolvida e comercializada na forma de pós, dentre eles, café, bebidas a base de café, leite em pó, sopas e fórmulas infantis. Essa

tendência está relacionada principalmente à praticidade e à estabilidade química e microbiológica dos produtos em pó (FORNY et al., 2011).

São considerados pós-instantâneos aqueles que se dispersam tanto em água quente, quanto em fria, com o mínimo de agitação e sem a formação de grumos ou partículas não dispersas (SCHUBERT, 1987). As partículas não flutuam na superfície, assim como não se sedimentam e não apresentam partículas muito grandes após a agitação (KYAW HLA; HOGKAMP, 1999). No entanto, para isso geralmente é necessário o ajuste das características de instantaneidade, usando processamentos como a aglomeração.

A aglomeração é um fenômeno físico causado por condições específicas de processamento ou por agentes ligantes (aglomeração úmida), que são substâncias aderidas quimicamente ou fisicamente sobre as superfícies sólidas para formar uma ponte entre as partículas. Nesse fenômeno acontece a aderência dos sólidos particulados, que é causada por forças físicas ou químicas entre as próprias partículas (PIETSCH, 1999), formando aglomerados das partículas do alimento, e, portanto, o aumento da capilaridade, ou seja, de canais que permitem melhor penetração de água ou de outro líquido no qual está sendo disperso.

Esse processo permite melhorar a molhabilidade e dispersibilidade das partículas (DHANALAKSHMI et al., 2011). É utilizada para tornarem instantâneos produtos como achocolatados, leite em pó, café solúvel, entre outros.

Existem diferentes tipos de aglomeração, os quais têm sido divididos em três grupos, aglomeração por pressão (compactação), por crescimento e por secagem (HOGKAMP et al., 1996). A partir dessa classificação, é também classificada em seca (pressão) ou úmida (crescimento e secagem). Na aglomeração seca, o principal responsável pela coesão das partículas é a pressão, através da diminuição do espaçamento entre elas e o aumento da superfície de contato, já na aglomeração úmida um líquido chamado de ligante é utilizado para adesão das partículas ou dependendo do processamento o vapor irá umedecer componentes solúveis do alimento que serão potenciais ligantes das partículas do pó (IVESON et al., 2001).

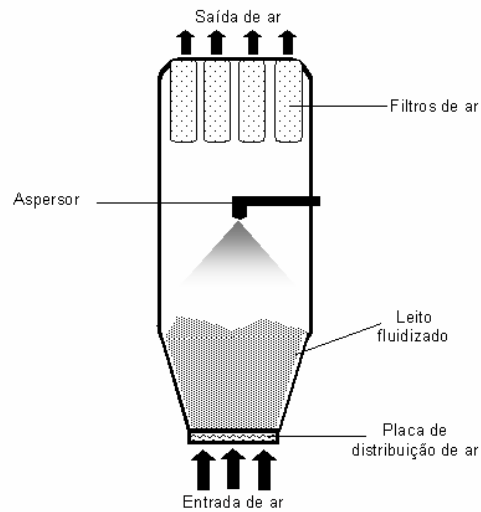
Segundo Kyaw HLA; Hogekamp (1999), dentre todos os processos de aglomeração existentes, nem todos são adequados para a obtenção de boas propriedades instantâneas. Dentre os tipos de aglomeração citados anteriormente, a aglomeração úmida é a mais eficiente para produzir alimentos instantâneos. Por essa razão, nesse estudo, foi dada ênfase na aglomeração úmida.

### **3.5.1 Tipos de aglomeração úmida**

Os principais métodos usados na indústria de alimentos para aglomeração úmida (*wet granulation*) são: leite fluidizado (JI et al., 2015), jato de vapor (SCHUBERT, 1993) e por agitação (KYAW HLA ; HOGKAMP, 1999). Essas tecnologias são empregadas geralmente para melhorar as propriedades de instantaneidade de alimentos em pó após o processo de secagem.

No processo de aglomeração em leite fluidizado, uma solução aglutinante, geralmente a lecitina, é pulverizada para aderir partículas primárias. Assim, os aglomerados formados não só possuem tamanhos de partículas significativamente maiores, mas também exibem poros internos grandes dentro de partículas únicas e grandes vazios intersticiais entre partículas (JI et al., 2017). Outros aglutinantes também podem ser utilizados, tais como sacarose, glicose e gomas (BARBOSA-NOVAS ; JULIANO, 2005; JI et al., 2015). A Figura 1 mostra um esquema de leite fluidizado, no qual o líquido ligante é aspergido sobre as partículas sólidas que flutuam devido a uma corrente de ar quente, formando um “leite” de partículas. Esse ligante produz camadas úmidas na superfície das partículas, que ao se colidirem formam

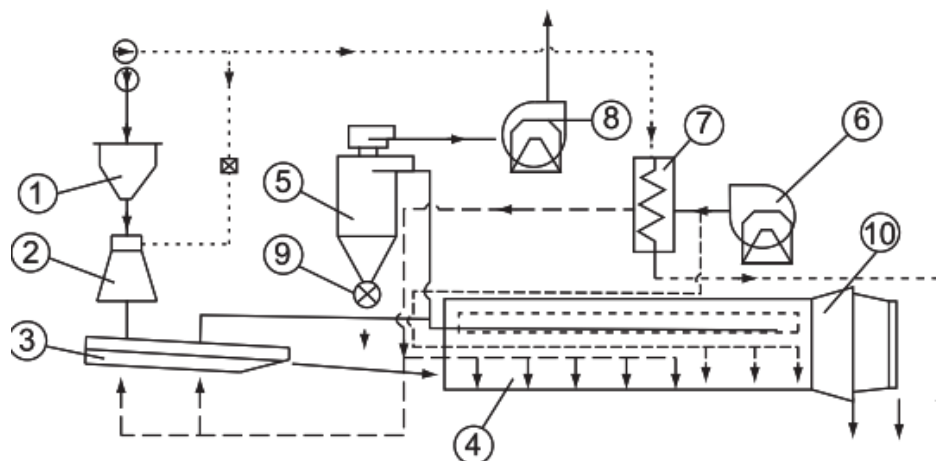
pontes líquidas e se aglomeram. Após a secagem, essas pontes líquidas se transformam em pontes sólidas por evaporação da água (ATALAR ; YAZICI, 2018).



**Figura 1** – Esquema de um leito fluidizado. Adaptado de Petrovick et al. (2006).

Na aglomeração por jato de vapor, o pó seco (partículas simples) é conduzido até a zona de aglomeração, onde jatos de vapor saturado são direcionados por bicos paralelos ou perpendiculares ao fluxo de pó. A condensação da água (cerca de 5%) e um aumento de temperatura (até 80-90 °C) na superfície das partículas fornecem as forças de adesão necessárias durante as colisões (PALZER, 2011). Gotas formadas pela condensação também podem colidir com as partículas primárias ou aglomerados. As partículas passam a apresentar superfícies pegajosas e se aglomeram. Depois seguem para seção de secagem dos grânulos (HOGEKAMP et al., 1996). A Figura 2 mostra um desenho esquemático de um aglomerador por jato de vapor, nesse caso, o pó é conduzido, através de um alimentador vibratório até uma tremonha de alimentação, no interior da qual está disposta uma escova rotativa que pressiona o pó sobre uma malha com aberturas (1). Após a passagem pela malha, as partículas caem livremente a uma curta distância enquanto são hidratadas e aquecidas pelo contato direto com o vapor saturado (2). Esse contato gera uma interfase pegajosa, devido à condensação do vapor na superfície das partículas. Ao alcançar a peneira vibratória inclinada (3), as partículas molhadas colidem entre si e formam aglomerados e os finos remanescentes são succionados. A etapa final é a secagem dos granulos em um cilindro rotativo (4) que remove a umidade do produto (atribuída pelo vapor) e estabiliza os aglomerados. A temperatura do ar de secagem utilizada pode chegar até a 100 °C (SCHUBERT, 1993; VISSOTTO et al., 2006).

O processo de aglomeração com vapor normalmente apresenta bom desempenho quando o pó ou a mistura de pós possui componentes solúveis em água; enquanto o processo de leito fluidizado pode ser usado em alimentos não solúveis, pois uma solução ligante será aspergida e será responsável por formar os granulos.



**Figura 2** – Desenho esquemático do aglomerador com vapor Industrial (I. C. F Industrie Cibec s. p. a.). 1) Tremonha de alimentação; 2) Difusor de vapor e ar quente; 3) Leito vibratório; 4) Secador rotativo; 5) Ciclone; 6) Ventilador; 7) Resistências; 8) Exaustor; 9) Válvula; 10) Classificação em função da distribuição granulométrica. Fonte: Vissotto et al. (2006).

### 3.5.2 Mecanismo da aglomeração úmida

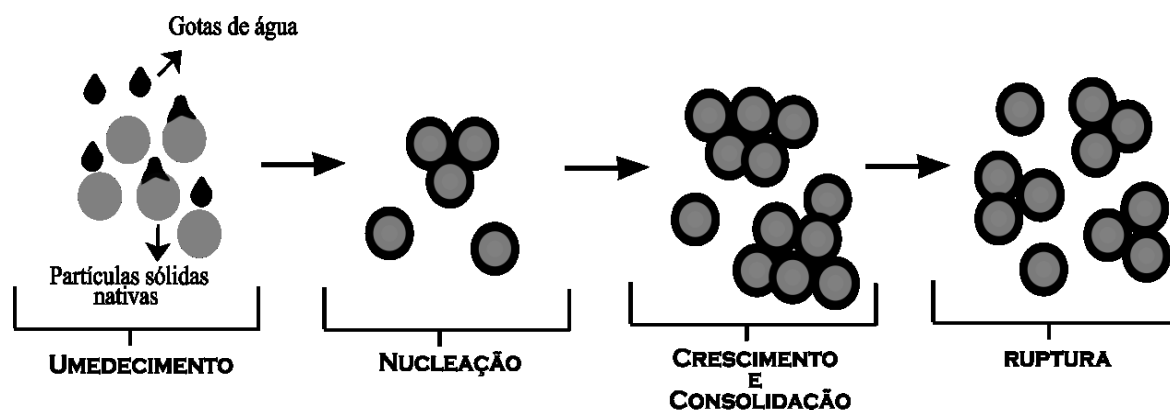
As principais etapas usadas pelos autores para descrever como ocorre a aglomeração são: umedecimento, nucleação, crescimento e consolidação, atrito e ruptura (IVESON et al., 2001; CUQ et al., 2013) e podem ser observadas na Figura 3.

O umedecimento se refere ao primeiro contato das moléculas de água ou do ligante com as partículas, assim como sua distribuição homogênea nas mesmas. Acontece quando as gotículas de água ou da solução ligante entram em contato com o alimento em pó. No umedecimento há plasticização instantânea da superfície das moléculas, o que altera muito o comportamento reológico da camada externa, diminuindo superficialmente a viscosidade do sólido (CUQ et al., 2013).

Essa plasticização ocorre apenas superficialmente nas partículas, pois é totalmente dependente do tempo e o processamento por aglomeração é um processo rápido. Por longo período de tempo e maior teor de água, a absorção de água poderia avançar e atingir todo o volume da partícula (CUQ et al., 2013).

A nucleação ocorre com a mistura dessas partículas umedecidas e cada núcleo é formado por coalescência após colisões aleatórias dessas partículas. Pode ser considerada como a formação de estruturas organizadas a partir do ajuntamento de muitas partículas primárias, que são estabilizadas por pontes líquidas e/ou pela cristalização de materiais dissolvidos na solução ligante. Em caso de partículas secas, essa estabilização acontece devido a forças de Van der Waals e eletrostáticas. Quando duas partículas pegajosas colidem, as camadas plasticizadas se deformam facilmente, aumentando a área de contato. As forças viscosas reforçam as pontes líquidas entre as partículas em colisão.

A fase de crescimento ocorre como um mecanismo interativo que envolve muitas partículas primárias e outras já aglomeradas, promovendo o crescimento dos núcleos. Já o atrito e ruptura ocorrem nos grânulos molhados ou secos devido ao impacto, desgaste ou compactação no granulador ou depois durante o manuseio subsequente do produto.



**Figura 3** – Mecanismo de aglomeração úmida.

### 3.5.3 Ingredientes potencialmente ligantes na aglomeração por jato de vapor

Na aglomeração úmida, por jato de vapor, o agente ligante é o próprio vapor, que quando entra em contato com algum dos ingredientes solúveis em água, o torna pegajoso para que ocorra o mecanismo da aglomeração úmida, descrito no item 2.4.2. Enquanto em leito fluidizado, uma solução ligante é aspergida no alimento em pó.

Os ingredientes, no caso da aglomeração por jato de vapor, assim como tamanho de partículas e morfologia têm muita influência sobre as forças adesivas que acontecem durante a colisão entre as partículas e conseqüentemente sobre as propriedades físicas do produto final (DHANALAKSHMI et al., 2011).

Na aglomeração úmida por vapor, a condensação do vapor na superfície das partículas promove a redução da viscosidade e pegajosidade das partículas de um ou mais ingredientes presentes na mistura. Isso torna necessária a compreensão a respeito da higroscopicidade e da higrosensibilidade dos diferentes ingredientes que serão usados. A higroscopicidade descreve a tendência de um material de adsorver água da atmosfera (PALZER, 2007).

Considerando a importância na aglomeração por jato de vapor, o principal requisito para considerar um ingrediente como um potencial agente de ligação entre as partículas é sua hidrofiliabilidade e capacidade em absorver água. Dentre os ingredientes de alimentos os que possuem essas características são: carboidratos, como sacarose e glicose (DHANALAKSHMI et al., 2011), maltodextrinas (TAKEITI et al., 2008) e amidos modificados. Nenhum estudo testando amidos modificados foi encontrado, por isso, faz-se necessário compará-lo com os ingredientes que as indústrias já têm utilizado.

Outros ingredientes como gomas, também possuem potencial para aglomeração (OLIVEIRA et al., 2019). Já ingrediente como óleo na formulação pode comprometer a aglomeração e o produto final. No estudo de Martins; Kieckbusch (2008), a presença de óleo não encapsulado comprometeu a aglomeração de maltodextrina, por jato de vapor, devido à sua influência sobre a plastificação/solidificação da superfície das partículas. Pequenas quantidades de óleo podem reduzir o diâmetro das partículas, a fluidez do pó, a resistência mecânica, assim como aumentar o tempo de molhabilidade.

Quando algum dos ingredientes possui característica hidrofóbica, então são usados agentes surfactantes como a lecitina. O uso de surfactante pode diminuir a tensão superficial entre a água e os pós, durante a aglomeração e posteriormente no momento de preparo. Ji et al. (2017) concluíram que a utilização de lecitina nas concentrações de 2 ou 5%, em pós de proteína do soro de leite durante a aglomeração por leito fluidizado, foram os tratamentos que apresentaram melhor resultado de reconstituição. A lecitina é um agente tensoativo de qualidade alimentar, possui propriedade anfifílica que permite combinar com um componente solúvel em água e um componente solúvel em óleo (SZUHAI, 1989; JI et al., 2017). No entanto, a utilização apenas da lecitina, apesar de melhorar a molhabilidade por reduzir a

tensão superficial, não foi suficiente para a rápida penetração da água devido à baixa porosidade do alimento em pó (JI et al., 2017).

### 3.6 Principais Características para Instantaneidade no Preparo de Alimentos em Pó

O comportamento da dissolução depende do tipo de material. Segundo Palzer (2011), os materiais podem ser divididos em 4 categorias: Sólidos amorfos polares (por exemplo, carboidratos e ácidos orgânicos amorfos); sólidos amorfos apolares (por exemplo, poliestireno, polipropileno e ceras); sólidos cristalinos polares (por exemplo, sais minerais, ácidos orgânicos cristalinos, e ureia); sólidos cristalinos apolares (por exemplo, monoglicerídeos e triglicerídeos).

Quando imersos em líquidos de polaridade semelhante, os materiais amorfos e cristalinos hidrofílicos diferem em seu comportamento de dissolução. Substâncias amorfas solúveis em água que estão em contato direto com água absorvem as moléculas de água e a viscosidade diminui constantemente até que as partículas se desintegram em moléculas únicas. Enquanto a dissolução de substâncias cristalinas quando imersas em água ocorre camada por camada, ou seja, quase nenhuma água migra diretamente pela estrutura cristalina (PALZER, 2011).

A maioria dos alimentos possui maior parte de materiais amorfos apolares ou polares, ou seja, materiais que em contato com água ou outro líquido de polaridade semelhante irão absorver esse líquido até a desintegração das partículas sólidas. Esse fenômeno tem sido sistematizado em etapas para melhorar a compreensão e os fatores que afetam cada etapa. Essas etapas serão elucidadas no item 3.5.1.

#### 3.6.1 Molhabilidade, dispersibilidade e solubilidade

A reidratação de pós ocorre em etapas. Essas etapas, embora não aconteçam isoladamente, têm sido ilustradas e descritas (Figura 4) como: 1) molhabilidade, que é a primeira etapa descrita como a capacidade de molhar a superfície das partículas; 2) A submersão desse aglomerado de partículas no líquido; 3) A dispersibilidade, que acontece com o rompimento das interações entre as partículas; 4) Por fim, a dissolução (ou solubilidade), quando a água consegue penetrar no interior das partículas e desintegrar interações dentro da partícula (SCHUBERT, 1993).

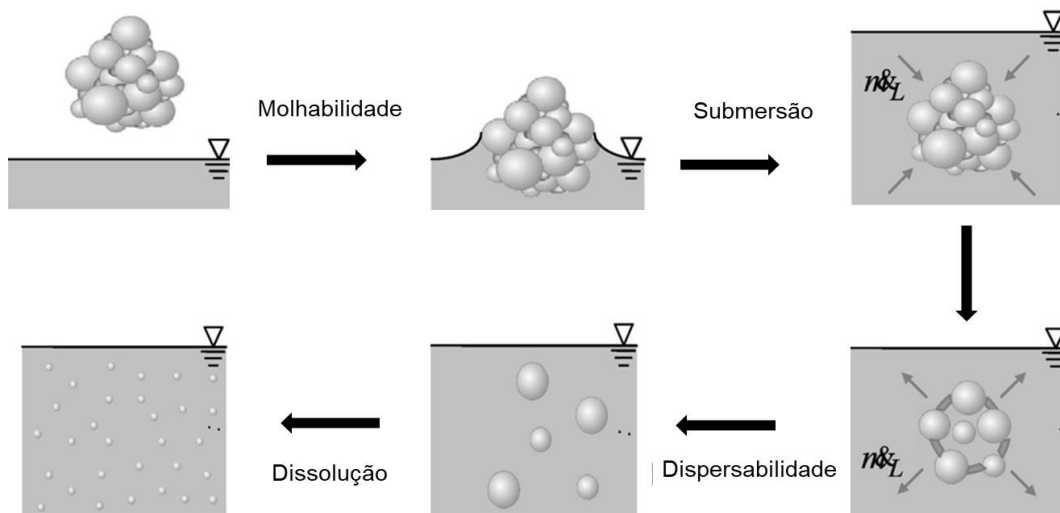


Figura 4 – Esquema de reconstituição dos pós aglomerados. Adaptado de Forny et al. (2011).

Existem alguns problemas referentes ao preparo de alimentos em pó, tais como a sedimentação, a baixa molhabilidade ou a solubilidade lenta. A baixa molhabilidade está relacionada principalmente com a composição do pó, por exemplo, alimentos mais gordurosos apresentam menor molhabilidade, pois criam maior tensão entre as superfícies de contato. Além disso, menores tamanhos de partícula podem dificultar a penetração de água na partícula (FITZPATRICK et al., 2016). Isso por que a interação entre sólidos e líquidos é fortemente depende de sua polaridade (PALZER, 2011).

No entanto, no estudo de Kyaw Hla; Hoge Kamp (1999), o teor de cacau não influenciou muito na molhabilidade de achocolatados, enquanto o conteúdo excessivo de partículas finas no pó e estrutura desfavorável (partículas mais esféricas, não rugosas, sem reentrâncias) de aglomerados foram as principais causas da baixa molhabilidade. Segundo Palzer (2011), a interação entre sólidos e líquidos depende também do volume livre dentro da estrutura sólida molecular.

Alguns fatores, como tamanho das partículas que atuam sobre a molhabilidade interferem também na dispersibilidade, mas de forma indireta. Partículas grandes e irregulares obtidas por aglomeração têm sua dispersão facilitada, devido a sua melhor molhabilidade (MAIA ; GOLGHER, 1983).

Já a solubilidade deve ser vista do ponto de vista químico, ou seja, é a quantidade de material dissolvido em uma solução quando se atinge o equilíbrio termodinâmico. A solubilidade, portanto está relacionada com a taxa na qual os componentes das partículas do pó se dissolvem no líquido onde está sendo preparado o alimento. É a fase final da dissolução do pó. Pensando dessa forma a solubilidade depende principalmente da composição química do alimento em pó e do seu estado físico (VISSOTTO, 2014).

O processamento em discussão, a aglomeração, pode melhorar a molhabilidade, a dispersibilidade e prevenir a formação de grumos, mas não consegue melhorar a solubilidade (VISSOTTO, 2014).

### **3.6.2 Porosidade e densidade dos aglomerados**

A porosidade é o fator geralmente usado para descrever a microestrutura interna dos aglomerados. Ela é classificada como contínua se os poros estiverem interconectados, aberta se os poros chegarem à superfície e fechada se não for esse o caso. A porosidade e a densidade são fatores chave na determinação das funcionalidades de um aglomerado (CUQ et al., 2013).

Os aglomerados geralmente são porosos e quebradiços, o tamanho desses poros, assim como o tamanho da partícula pode variar. Essa porosidade é muito importante no produto, pois tem grande influência sobre a molhabilidade (HOGEKAMP ; POHL, 2003).

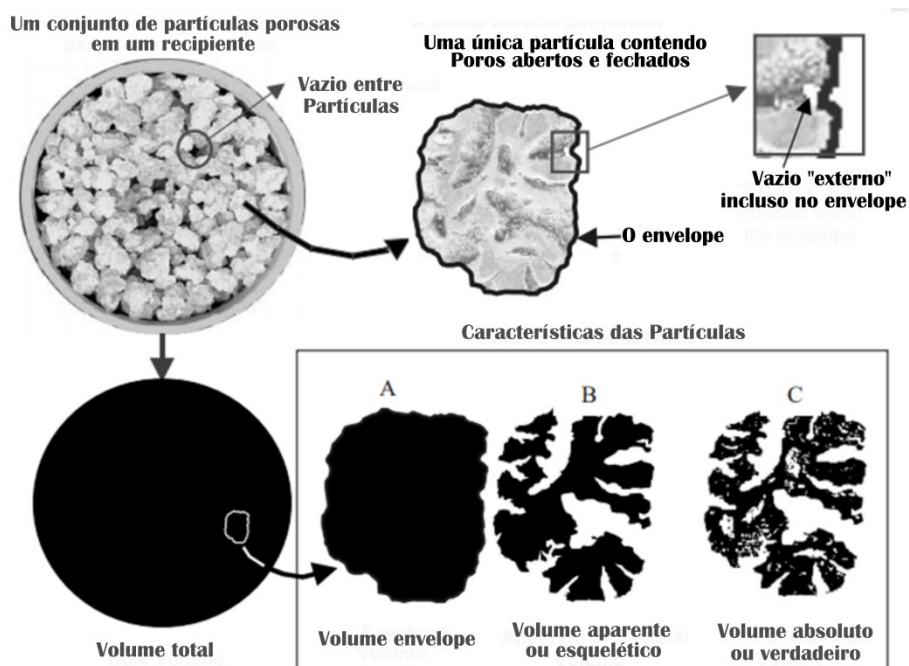
A relação entre a porosidade e a molhabilidade é explicada pelo umedecimento da superfície da partícula seguido da substituição do ar intersticial pelo líquido onde está sendo dissolvido, por capilaridade, que ocorrem durante a reconstituição. Se o volume de ar é pequeno, ou seja, pouca porosidade, como o que ocorre nos pós não aglomerados, a quantidade de água será pequena, resultando em uma solução concentrada de alta viscosidade na superfície do pó, o que provoca formação de grumos. Quando o volume de ar é grande, como o que ocorre nos produtos em pó aglomerados, a quantidade de água da dissolução será grande, facilitando assim a dispersão dos grânulos, antes da formação de soluções de alta viscosidade na superfície (VISSOTTO et al., 2006).

Essa porosidade está relacionada à densidade absoluta dos aglomerados, uma vez que o volume real de partículas sólidas desconsidera o volume desses poros. Webb (2001), apresenta nove definições de volume. Dentre elas três principais definições são consideradas, volume envelope, volume aparente e volume absoluto (Figura 5). O volume envelope é o volume de uma partícula ou pó como se estivesse envolvida por um envelope, ou seja,



desconsidera suas irregularidades da superfície. O volume aparente do pó considera o total de matéria sólida, poros abertos e espaço entre as partículas fechadas, já o volume aparente da partícula considera o volume total da partícula, excluindo poros abertos, mas incluindo poros fechados. O volume absoluto ou verdadeiro considera apenas o espaço que a matéria do pó ou partículas ocupa, isto é, excluindo tanto poros abertos, quanto poros fechados.

A densidade, por sua vez pode influenciar na dispersibilidade do produto aglomerado (SHITTU ; LAWAL, 2007). Segundo Dhanalakshmi (2011), o afundamento das partículas no momento do preparo depende de densidade e tamanho de partículas, ou seja, partículas maiores e mais densas afundam mais rápido.



**Figura 5** – Ilustração de vários tipos de volumes. Retirada e traduzida de Webb (2001).

### 3.6.3 Tamanho de partículas e morfologia dos aglomerados

Outra característica de produtos em pó que prejudica a instantaneidade é a presença em grande quantidade de partículas pequenas, ou seja, menor que  $75 \mu\text{m}$ , que são chamadas de “finos”(OLIVEIRA et al., 2019). Para Kyaw Hla; Hoge Kamp (1999), o tamanho mínimo da maioria das partículas deve estar em torno de  $180 \mu\text{m}$ , com uma margem de  $\pm 20 \mu\text{m}$ . A grande quantidade de finos e/ou estrutura desfavorável de aglomerados podem ser a principal causa da baixa molhabilidade no alimento em pó (KYAW HLA ; HOGEKAMP, 1999).

A aglomeração causa alterações na estrutura e no tamanho das partículas de pós, sendo uma das características que mais influenciam no preparo de alimentos em pó (SZULC ; LENART, 2012).

Segundo Kyaw Hla; Hoge Kamp (1999), mais importante do que produzir aglomerados muitos grandes, é eliminar os finos, não só por prejudicarem a instantaneidade, como também pela capacidade de umedecimento mais facilmente durante a estocagem. Isso pode afetar até mesmo a qualidade microbiológica do produto. No entanto, mesmo aglomerados, a abrasão durante transporte e estocagem pode provocar o surgimento de finos no produto ao longo do tempo.

### 3.7 Efeitos das Características Ingredientes Ligantes Sobre o Produto Aglomerado

Existem vários ingredientes ou agentes ligantes com potencial para serem usados na aglomeração úmida. Uma das principais características para ser considerado um ligante (leito fluidizado) ou ingrediente com esse potencial (jato de vapor) é a capacidade de absorver água. Alguns materiais possuem esse potencial, porém ainda não foram estudados seus efeitos sobre as propriedades físicas e funcionais dos aglomerados. Dentre os estudos realizados até o presente momento, alguns foram citados na Tabela 2. A influência das características desses materiais (viscosidade, transição vítrea, tamanho de partícula e peso molecular) sobre os aglomerados foi abordada nos próximos tópicos de forma mais detalhada.

Um dos pré-requisitos para formação de aglomerados é a força de adesão entre as partículas. As diferentes forças de adesão dependem das condições do processo, como tempo de contato entre partículas únicas, temperatura, umidade e pressão. No entanto, eles também são governados por propriedades do material (ingredientes ou agente ligante), como higrosensibilidade e dependência temperatura/umidade da viscosidade. Essas propriedades do material são fortemente influenciadas pelo arranjo molecular e pela estrutura microscópica das partículas (PALZER, 2009).

No entanto, é importante levar em consideração a complexidade dos alimentos em pó, porque sua reatividade físico-química em diferentes escalas ainda não é totalmente compreendida (PALZER, 2007).

**Tabela 2** – Exemplos de materiais ligantes usados na aglomeração e a característica do produto final em leito fluidizado

Ligante	Método	Alimento	Principal resultado	Autor (s)
Maltodextrina DE 14 (0, 5, 10, 15 e 20%)	Leito fluidizado	Extrato hidrossolúvel de soja instantâneo	A concentração ótima era de 10%; maior tamanho de partícula e melhores propriedades de reidratação	(JINAPONG et al., 2008)
Xarope (50% de açúcar) and 2% de lecitina	Leito fluidizado	Alimento infantil (mingau)	Maior tamanho de partícula e maior molhabilidade	(SZULC ; LENART, 2012)
Sacarose (diferentes concentrações)	Leito fluidizado	Iogurte em pó	Partículas mais porosas e maiores; maior escurecimento do produto	(ATALAR ; YAZICI, 2018)
Hidroximetilcelulose (HPMC)	Leito fluidizado	Gomas	Aglomeração com HPMC produziu partículas maiores, porosas e de formato irregular, com fluidez e coesão aprimoradas	(JEONG et al., 2019)

#### 3.7.1 Viscosidade e massa molecular do ligante

A viscosidade é uma característica importante do ingrediente ou agente ligante, pois quando a viscosidade da superfície reduz a valores menores que  $10^8$  Pa.s, a partícula fica pegajosa (PALZER, 2011). Quando duas partículas pegajosas colidem, as camadas

plastificadas se deformam facilmente, aumentando a área de contato. As forças viscosas reforçam as pontes líquidas entre as partículas em colisão (CUQ et al., 2013).

Essa viscosidade depende do tipo de material, se cristalino ou amorfo. Em vários processos de aglomeração, as gotas líquidas são pulverizadas sobre partículas amorfas. As gotículas penetram nos materiais amorfos e diminuem localmente sua viscosidade. Simultaneamente, as moléculas do material amorfo também podem migrar para as gotículas líquidas, gerando conseqüentemente uma solução viscosa na superfície da partícula. Se uma segunda partícula impactar esta solução, uma ponte viscosa é formada, como explicado no parágrafo anterior. Já em superfícies cristalinas, as gotas de líquido que colidem não migram para a matriz sólida. Apesar de essas moléculas estarem se dissolvendo no líquido, sua viscosidade permanece moderada porque a maioria das moléculas cristalinas tem um baixo peso molecular (PALZER, 2011).

Em leito fluidizado, a alta viscosidade de ligantes preparados com água destilada, pode apresentar mobilidade reduzida e, portanto, dificultar a nucleação e desenvolvimento dos aglomerados (ATALAR ; YAZICI, 2018). No entanto, ligantes com baixa viscosidade podem não cobrir toda a superfície da partícula. Soluções de maltodextrinas, por exemplo, tendem a serem mais viscosas que sacarose ou glicose.

Em relação ao peso molecular além da viscosidade, ligantes com maior peso molecular conseguem revestir melhor a superfície das partículas, evitando furos ou rachaduras (ATALAR ; YAZICI, 2018). No entanto, podem apresentar maior temperatura de transição vítrea, outra característica relacionada aos ingredientes ou agentes ligantes da aglomeração (ROOS ; KAREL, 1991).

### **3.7.2 Temperatura de transição vítrea do ligante**

A transição vítrea é uma mudança de fase de segunda ordem que ocorre em materiais amorfos. Nessa transição o material amorfo passa de um estado vítreo e enrijecido para um estado gomoso (ROOS ; KAREL, 1991; PALZER, 2005).

Qualquer tipo de aglomeração de pós, seja ela desejável ou não está diretamente relacionada à temperatura de transição vítrea ( $T_g$ ), seja do agente ligante, ou de um ingrediente, porque geralmente são materiais vítreos amorfos. Essa importância está relacionada com a baixa viscosidade (abaixo de  $10^8$  Pa.s) necessária para tornar a superfície da partícula pegajosa, o que ocorre geralmente em temperaturas de 20 °C acima da  $T_g$  do material (Figura 6) (PALZER, 2005; FITZPATRICK et al., 2010).

Nessa zona de “pegajosidade” há formação de pontes entre partículas. Para os materiais em pó amorfos e solúveis em água, o amolecimento do produto pode ser obtido tanto pelo aumento da temperatura quanto pelo aumento do conteúdo de umidade, que resulta na redução da  $T_g$ . A água atua como um plasticizante, aumentando a mobilidade molecular do material (FITZPATRICK et al., 2010). A transição vítrea é também dependente do tempo (ROOS ; KAREL, 1991), por isso a aglomeração indesejada pode também ocorrer na estocagem dos alimentos em pó.

O empedramento de alimentos em pó indesejável, também chamado de *caking*, ocorre durante a estocagem, depois de um longo período de tempo em condições moderadas de umidade e pressão. O tempo de contato entre as partículas varia entre dias ou de 1 a 2 anos. A viscosidade do material é alta, a força aplicada é baixa, mas o tempo de contato entre duas partículas vizinhas é suficiente para o desenvolvimento de forças de adesão significativas. No caso de qualquer processo de aglomeração desejado, o tempo em que as partículas vizinhas estão em contato é relativamente pequeno para atingir um rendimento suficiente do processo (PALZER, 2005). Nesse empedramento (*caking*) há também perda de qualidade do pó.

O *caking* pode ocorrer por vários fatores, dentre eles, atração eletrostática entre as partículas; umedecimento das superfícies ou por recristalização, quando ocorre a fusão de

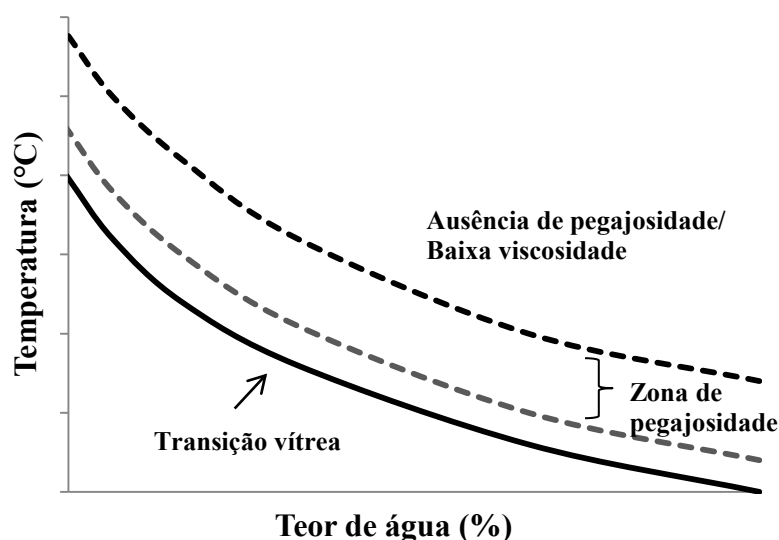
gorduras ou de cristais de açúcares (AGUILERA et al., 1995). Todos esses fatores estão relacionados com a exposição do alimento às diferentes condições de temperatura e umidade relativa, durante o manuseio, estocagem, processamento e distribuição ao consumidor final (FITZPATRICK et al., 2010) e também com o tempo de estocagem.

### 3.7.3 Tamanho de partículas do ingrediente

Na aglomeração por jato de vapor o tamanho de partículas do ingrediente solúvel pode afetar as características do produto. Vissoto et al. (2010) avaliaram diferentes granulometrias do açúcar cristal (ingrediente solúvel) para produzir achocolatado e observaram que o menor tamanho médio desse ingrediente (~100  $\mu\text{m}$ ) levou a melhores características de preparo do achocolatado e maior tamanho do grânulo obtido.

Na aglomeração por leite fluidizado, outros fatores que afetam as características do produto são a concentração da solução ligante, o tamanho da gota dessa solução, assim como o tamanho de partículas dos ingredientes em pó. Os autores Abberger et al. (2002) avaliaram diferentes tamanhos de partículas e chegaram a conclusão de que o maior tamanho de partícula da lactose, que era o ingrediente que estava sendo aglomerado, levou a aglomerados maiores. Observaram também que gotículas de 90  $\mu\text{m}$  na concentração de 22% de ligante ofereceram maior potencial de crescimento, produzindo aglomerados extremamente maiores do que quando usou as gotículas de 30 e 60  $\mu\text{m}$ .

Partículas muito pequenas podem ter maior atração entre si, ou seja, quanto menor o tamanho de partículas, maior a força de coesão. Rennie et al. (1999) concluíram isso quando estudaram a força de coesão entre partículas de leite em pó por leite fluidizado.



**Figura 6** – Demonstração da zona de pegajosidade em relação à transição vítrea em materiais amorfos. Traduzido para português de Fitzpatrick et al. (2010).

## 3 CONCLUSÃO

A partir desse referencial teórico, é possível concluir que a inserção do sorgo na alimentação dos brasileiros traz a opção de um novo cereal com características nutricionais conhecidas e benéficas à saúde, que além disso conseguiria ser cultivado em tempos futuros, nos quais a escassez de água tem sido prevista. É oportuno informar nesta revisão, que foi considerado o sorgo na forma de grão inteiro, em que o pericarpo e o germe é mantido na composição final do alimento, contribuindo assim com maior teor de fibra alimentar, e proteína.

O achocolatado poderá ser uma forma viável de inserção desse cereal, pois é um produto já bastante consumido pela população brasileira, em especial pelos jovens. Para tornar esse produto instantâneo geralmente é feita a aglomeração da mistura dos ingredientes em pó. O resultado desse processamento dependerá do tipo de equipamento utilizado, dos ingredientes quando por aglomeração a jato de vapor ou de soluções ligantes, quando por leite fluidizado. A extrusão também é importante para a produção de uma farinha pré-cozida e com granulometria adequada, a partir de sorgo integral, gerando assim insumo adequado para a produção do pó achocolatado. Além disso, as características dessa farinha, assim como dos outros ingredientes podem influenciar na funcionalidade do produto em termos de preparo. Portanto, apesar do achocolatado ser um produto promissor para a inserção do sorgo na alimentação dos brasileiros, suas implicações como ingrediente na aglomeração, devem ser analisadas, sendo a análise sensorial é uma ferramenta indispensável para o sucesso do desenvolvimento desse produto.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABBERGER, T.; SEO, A.; SCHÆFER, T. The effect of droplet size and powder particle size on the mechanisms of nucleation and growth in fluid bed melt agglomeration. **International Journal of Pharmaceutics**, v. 249, n. 1, p. 185-197, 2002. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378517302005306>.
- ADINSI, L. *et al.* Comprehensive quality and potential hazards of gowe, a malted and fermented cereal beverage from West Africa. A diagnostic for a future re-engineering. **Food Control**, v. 82, n. Supplement C, p. 18-25, 2017. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956713517303171>.
- AGUILERA, J.; DEL VALLE, J.; KAREL, M. Caking phenomena in amorphous food powders. **Trends in Food Science & Technology**, v. 6, n. 5, p. 149-155, 1995. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924224400890238>.
- ALAM, M. *et al.* Extrusion and Extruded Products: Changes in Quality Attributes as Affected by Extrusion Process Parameters: A Review. **Journal Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 56, 2015. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10408398.2013.779568>.
- ANUNCIACÃO, P. C. *et al.* Comparing sorghum and wheat whole grain breakfast cereals: Sensorial acceptance and bioactive compound content. **Food Chemistry**, v. 221, n. Supplement C, p. 984-989, 2017. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814616319148>.
- ARE, A. *et al.* Recent advances in sorghum genetic enhancement research at ICRISAT. **American Journal of Plant Sciences**, v. 02, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4236/ajps.2011.24070>.
- ARES, G.; DELIZA, R. Identifying important package features of milk desserts using free listing and word association. **Food Quality and Preference**, v. 21, n. 6, p. 621-628, 2010. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950329310000406>.
- ARES, G.; JAEGER, S. R. Check-all-that-apply questions: Influence of attribute order on sensory product characterization. **Food Quality and Preference**, v. 28, n. 1, p. 141-153, 2013. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950329312001838>.
- ARES, G.; JAEGER, S. R. 11 - Check-all-that-apply (CATA) questions with consumers in practice: experimental considerations and impact on outcome. In: DELARUE, J.;LAWLOR, J. B., *et al* (Ed.). **Rapid Sensory Profiling Techniques**: Woodhead Publishing, 2015. p.227-245. ISBN 978-1-78242-248-8.
- ARES, G.; VARELA, P. Trained vs. consumer panels for analytical testing: Fueling a long lasting debate in the field. **Food Quality and Preference**, v. 61, p. 79-86, 2017. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950329316302117>.
- ARES, G.; VARELA, P. Chapter 8 - Consumer-Based Methodologies for Sensory Characterization. In: ARES, G. e VARELA, P. (Ed.). **Methods in Consumer Research, Volume 1**: Woodhead Publishing, 2018. p.187-209. ISBN 978-0-08-102089-0.

ASIOLI, D. *et al.* A discussion of recent methodologies for combining sensory and extrinsic product properties in consumer studies. **Food Quality and Preference**, v. 56, p. 266-273, 2017. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950329316300672>.

ATALAR, I.; YAZICI, F. Effect of different binders on reconstitution behaviors and physical, structural, and morphological properties of fluidized bed agglomerated yoghurt powder. **Drying Technology**, p. 1-9, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/07373937.2018.1529038>.

AWIKA, J. M.; ROONEY, L. W. Sorghum phytochemicals and their potential impact on human health. **Phytochemistry**, v. 65, n. 9, p. 1199-1221, 2004. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S003194220400144X>.

AWIKA, J. M. *et al.* Screening Methods To Measure Antioxidant Activity of Sorghum (*Sorghum bicolor*) and Sorghum Products. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 51, n. 23, p. 6657-6662, 2003. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1021/jf034790i>.

BARBOSA-NOVAS, G.; JULIANO, P. Physical and Chemical Properties of Food Powders. In: (Ed.): Informa UK Limited, 2005. p.39-71. ISBN 978-0-8247-5327-6.

BRENNAN, C. *et al.* Effects of extrusion on the polyphenols, vitamins and antioxidant activity of foods. **Trends in Food Science & Technology**, v. 22, n. 10, p. 570-575, 2011. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924224411001129>.

BUSSE, M.; SIEBERT, R. The role of consumers in food innovation processes. **European Journal of Innovation Management**, v. 21, n. 1, p. 20-43, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/EJIM-03-2017-0023>. Acesso em: 2020/08/18.

CARDOSO, L. D. M. *et al.* Tocochromanols and carotenoids in sorghum (*Sorghum bicolor* L.): Diversity and stability to the heat treatment. **Food Chemistry**, v. 172, n. Supplement C, p. 900-908, 2015. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814614015027>.

CHARUNUCH, C.; BOONYASIRIKOOL, P.; TIENGPOOK, C. Using of extrusion process for preparation of instant cereal beverage powders based on corn and soybean. **Kasetsart J (Nat Sci)**, v. 37, p. 72-83, 2003. Disponível em: [http://kasetsartjournal.ku.ac.th/kuj\\_files/2008/A0804290937017937.pdf](http://kasetsartjournal.ku.ac.th/kuj_files/2008/A0804290937017937.pdf).

CHARUNUCH, C. *et al.* Effects of Extrusion Conditions on the Physical and Functional Properties of Instant Cereal Beverage Powders Admixed with Mulberry (*Morus alba* L.) Leaves. **Food Science and Technology International, Tokyo**, v. 14, n. 5, p. 421-430, 2008. Disponível em: <http://ci.nii.ac.jp/naid/10024335820/en/>.

CHÁVEZ, D. *et al.* Sorghum, an alternative cereal for gluten-free product. **Revista chilena de nutrición**, v. 45, p. 169-177, 2018. Disponível em: [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0717-75182018000300169&nrm=iso](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-75182018000300169&nrm=iso).

CHÁVEZ, D. W. H. *et al.* Sorghum and roasted coffee blends as a novel extruded product: Bioactive compounds and antioxidant capacity. **Journal of Functional Foods**, v. 29, p. 93-103, 2017. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1756464616304017>.

CHENG, S.; SUN, Y.; HALGREEN, L. The relationships of sorghum kernel pericarp and testa characteristics with tannin content. **Asian Journal of Crop Science**, v. 1, n. 1, p. 1-5, 2009. Disponível em: <https://scialert.net/abstract/?doi=ajcs.2009.1.5>.

CUQ, B. *et al.* 7 - Agglomeration/granulation in food powder production. In: BHANDARI, B.; BANSAL, N., *et al.* (Ed.). **Handbook of Food Powders**: Woodhead Publishing, 2013. p.150-177. ISBN 978-0-85709-513-8.

DA VEIGA CORREIA, V. T.; QUEIROZ, V. A. V.; DE ARAÚJO MIGUEL, R. Estabilidade de taninos em massa de churros sem glúten formuladas com farinha de sorgo. 2017. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1069551>.

DELIZA, R.; ARES, G. Consumer Perception of Novel Technologies. In: ROSENTHAL, A.; DELIZA, R., *et al.* (Ed.). **Fruit Preservation: Novel and Conventional Technologies**. New York, NY: Springer New York, 2018. p.1-20. ISBN 978-1-4939-3311-2.

DHANALAKSHMI, K.; GHOSAL, S.; BHATTACHARYA, S. Agglomeration of Food Powder and Applications. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 51, n. 5, p. 432-441, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/10408391003646270>.

DOISE, W.; CLEMENCE, A.; LORENZI-CIOLDI, F. **The quantitative analysis of social representations**. Taylor & Francis, 1993.

DONOGHUE, S. Projective techniques in consumer research. **Journal of Consumer Sciences**, v. 28, 2000.

DYKES, L.; ROONEY, L. W. Sorghum and millet phenols and antioxidants. **Journal of Cereal Science**, v. 44, n. 3, p. 236-251, 2006. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0733521006000877>.

DYKES, L. *et al.* Phenolic Compounds and Antioxidant Activity of Sorghum Grains of Varying Genotypes. **Journal Agriculture Food Chemistry**, v. 53, p. 6813-8, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/jf050419e>.

EZEKIEL, C. *et al.* Fate of mycotoxins in two popular traditional cereal-based beverages (kunu-zaki and pito) from rural Nigeria. **LWT - Food Science and Technology**, v. 60, n. 1, p. 137-141, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.08.018>.

FAO. Dia Mundial da Água: FAO apela à inovação nas tecnologias da água para aumentar a eficiência do uso da água. 2019. Disponível em: < <http://www.fao.org/brasil/noticias/detail-events/pt/c/1186500/> >. Acesso em: April, 04.

FAOSTAT. Production of sorghum in Brazil. **Crops**, 2018. Disponível em: < <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC> >. Acesso em: may 9.



FITZPATRICK, J. J. *et al.* Comparing the caking behaviours of skim milk powder, amorphous maltodextrin and crystalline common salt. **Powder Technology**, v. 204, n. 1, p. 131-137, 2010. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032591010003761>.

FITZPATRICK, J. J. *et al.* Investigation of the rehydration behaviour of food powders by comparing the behaviour of twelve powders with different properties. **Powder Technology**, v. 297, p. 340-348, 2016. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032591016302042>.

FORNY, L.; MARABI, A.; PALZER, S. Wetting, disintegration and dissolution of agglomerated water soluble powders. **Powder Technology**, v. 206, n. 1, p. 72-78, 2011. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032591010003694>.

GAMBARO, A. Projective techniques to study consumer perception of food. **Current Opinion in Food Science**, v. 21, p. 46-50, 2018. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214799317302308>.

GU, L. *et al.* Sorghum Extrusion Increases Bioavailability of Catechins in Weanling Pigs. **Journal Agriculture Food Chemistry**, v. 56, p. 1283-8, 2008. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18251504/>.

HOGKAMP, S.; POHL, M. Porosity measurement of fragile agglomerates. **Powder Technology**, v. 130, n. 1, p. 385-392, 2003. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032591002002401>.

HOGKAMP, S.; SCHUBERT, H.; WOLF, S. Steam jet agglomeration of water soluble material. **Powder Technology**, v. 86, n. 1, p. 49-57, 1996. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0032591095030379>.

HORVAT, A. *et al.* Understanding consumer data use in new product development and the product life cycle in European food firms – An empirical study. **Food Quality and Preference**, v. 76, p. 20-32, 2019. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950329318307225>.

ICRISAT, F. World Sorghum and Millet Economy Facts, trends and outlook. **International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics**, p. 68, 1996. Disponível em: <http://oar.icrisat.org/id/eprint/1024>.

IVESON, S. M. *et al.* Nucleation, growth and breakage phenomena in agitated wet granulation processes: a review. **Powder Technology**, v. 117, n. 1, p. 3-39, 2001. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032591001003138>.

JAEGER, S. R. *et al.* What does it mean to check-all-that-apply? Four case studies with beverages. **Food Quality and Preference**, v. 80, p. 103794, 2020. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950329319303817>.

JENSEN, M. *et al.* Intake of whole grains, bran, and germ and the risk of coronary heart disease in men. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 80, p. 1492-9, 2004.

JEONG, G. Y.; BAK, J. H.; YOO, B. Physical and rheological properties of xanthan gum agglomerated in fluidized bed: Effect of HPMC as a binder. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 121, p. 424-428, 2019. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141813018341114>.

JI, J. *et al.* Effects of fluid bed agglomeration on the structure modification and reconstitution behaviour of milk protein isolate powders. **Journal of Food Engineering**, v. 167, n. Part B, p. 175-182, 2015. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877415000229>.

JI, J. *et al.* Enhanced wetting behaviours of whey protein isolate powder: The different effects of lecithin addition by fluidised bed agglomeration and coating processes. **Food Hydrocolloids**, v. 71, n. Supplement C, p. 94-101, 2017. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0268005X17301571>.

JINAPONG, N.; SUPHANTHARIKA, M.; JAMNONG, P. Production of instant soymilk powders by ultrafiltration, spray drying and fluidized bed agglomeration. **Journal of Food Engineering**, v. 84, n. 2, p. 194-205, 2008. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877407002853>.

KEMP, S. E.; HORT, J.; HOLLOWOOD, T. **Descriptive analysis in sensory evaluation**. John Wiley & Sons, 2018.

KREISZ, S. *et al.* 16 - Cereal-based gluten-free functional drinks. In: (Ed.). **Gluten-Free Cereal Products and Beverages**. San Diego: Academic Press, 2008. p.373-392. ISBN 978-0-12-373739-7.

KYAW HLA, P.; HOGEKAMP, S. Wetting behaviour of instantized cocoa beverage powders. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 34, n. 4, p. 335-342, 1999. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1046/j.1365-2621.1999.00275.x>.

LAI, L. S.; KOKINI, J. L. Physicochemical Changes and Rheological Properties of Starch during Extrusion (A Review). **Biotechnology Progress**, v. 7, n. 3, p. 251-266, 1991. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1021/bp00009a009>.

LAWLESS, H. T.; HEYMANN, H. **Sensory evaluation of food: principles and practices**. Springer Science & Business Media, 2010.

LEE, C.-H.; SOUANE, M.; RHU, K.-H. Effects of prefermentation and extrusion cooking on the lactic fermentation of rice-soybean based beverage. **Korean Journal of Food Science and Technology**, v. 20, n. 5, p. 666-673, 1988.

MAGALHÃES, P.; DURÃES, F. Tanino no grão de sorgo. **Embrapa Milho e Sorgo- Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, p. 1-27, 2003. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/37597/1/circ-27.pdf>.

MAIA, A.; GOLGHER, M. Parâmetros para avaliação da qualidade de reconstituição do leite em pó desidratado em secador de aspersão ("Spray-Drier"). **Boletim SBCTA**, v. 17, n. 3, p. 235-254, 1983.

MARTINS, P. C.; KIECKBUSCH, T. G. Influence of a lipid phase on steam jet agglomeration of maltodextrin powders. **Powder Technology**, v. 185, n. 3, p. 258-266, 2008. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032591007005402>.

MORAES, É. A. *et al.* Sorghum flour fractions: Correlations among polysaccharides, phenolic compounds, antioxidant activity and glycemic index. **Food Chemistry**, v. 180, p. 116-123, 2015. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814615001934>.

MORAES, É. A. *et al.* In vivo protein quality of new sorghum genotypes for human consumption. **Food Chemistry**, v. 134, n. 3, p. 1549-1555, 2012. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814612005626>.

NAYAK, B.; DE J. BERRIOS, J.; TANG, J. Impact of food processing on the glycemic index (GI) of potato products. **Food Research International**, v. 56, p. 35-46, 2014. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0963996913006741>.

NIKMARAN, N. *et al.* Effect of extrusion on the anti-nutritional factors of food products: An overview. **Food Control**, v. 79, n. Supplement C, p. 62-73, 2017. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956713517301482>.

OBIANG-OBOUNOU, B. W.; RYU, G. H. The effect of feed moisture and temperature on tannin content, antioxidant and antimicrobial activities of extruded chestnuts. **Food Chemistry**, v. 141, n. 4, p. 4166-4170, 2013. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814613009060>.

OBILANA, A. O.; ODHAV, B.; JIDEANI, V. A. Functional and Physical Properties of Instant Beverage Powder Made From Two Different Varieties of Pearl Millet. **Journal of Food and Nutrition Research**, v. 2, n. 5, p. 250-257, 2014. Disponível em: <http://pubs.sciepub.com/jfnr/2/5/7>.

OLIVEIRA, M. E. A. S. *et al.* Extrusion of  $\lambda$ -carrageenan gum: Physical properties and in vitro bifidogenic effect. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 43, n. 8, p. e14027, 2019. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/jfpp.14027>.

PALZER, S. The effect of glass transition on the desired and undesired agglomeration of amorphous food powders. **Chemical Engineering Science**, v. 60, n. 14, p. 3959-3968, 2005. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0009250905001296>.

PALZER, S. Chapter 13 Agglomeration of dehydrated consumer foods. In: SALMAN, A. D.; HOUNSLOW, M. J., *et al.* (Ed.). **Handbook of Powder Technology**: Elsevier Science B.V., v.11, 2007. p.591-671. ISBN 0167-3785.

PALZER, S. Influence of material properties on the agglomeration of water-soluble amorphous particles. **Powder Technology**, v. 189, n. 2, p. 318-326, 2009. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032591008002027>.

PALZER, S. Agglomeration of pharmaceutical, detergent, chemical and food powders — Similarities and differences of materials and processes. **Powder Technology**, v. 206, n. 1, p.

2-17, 2011. Disponível em:  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032591010002445>.

PETROVICK, G.; PETROVICK, P.; BASSANI, V. Granulação e revestimento em leite fluidizado. **Cad Farm**, v. 21, p. 107-18, 2006. Disponível em:  
<https://pt.scribd.com/document/382492914/Granulacao-e-Revestimento-Em-Leito>.

PIETSCH, W. Readily engineer agglomerates with special properties from micro-and nanosized particles. v. 95, p. 67-80, 1999. Disponível em:  
<https://dialnet.unirioja.es/ejemplar/69899>.

PONTIERI, P. *et al.* Sorghum, a Healthy and Gluten-free Food for Celiac Patients As Demonstrated by Genome, Biochemical, and Immunochemical Analyses. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 61, n. 10, p. 2565-2571, 2013. Disponível em:  
<http://dx.doi.org/10.1021/jf304882k>.

QUEIROZ, V. A. V. *et al.* A low calorie and nutritive sorghum powdered drink mix: Influence of tannin on the sensorial and functional properties. **Journal of Cereal Science**, v. 79, p. 43-49, 2018. Disponível em:  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0733521017304769>.

QUEIROZ, V. A. V. *et al.* Avaliação da aceitação sensorial de bolo integral à base de farinha de sorgo. Embrapa Milho e Sorgo-Resumo em anais de congresso (ALICE), 2010, In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 22., 2010, Salvador. Ciência e tecnologia de alimentos: potencialidades, desafios e inovações. Campinas: SBCTA, 2010. p. 149., 2010.

QUEIROZ, V. A. V. *et al.* Nutritional composition of sorghum [sorghum bicolor (L.) Moench] genotypes cultivated without and with water stress. **Journal of Cereal Science**, v. 65, n. Supplement C, p. 103-111, 2015. Disponível em:  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0733521015300308>.

RENNIE, P. R. *et al.* A study of the cohesion of dairy powders. **Journal of Food Engineering**, v. 39, n. 3, p. 277-284, 1999. Disponível em:  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877498001587>.

ROOS, Y.; KAREL, M. Phase Transitions of Mixtures of Amorphous Polysaccharides and Sugars. **Biotechnology Progress**, v. 7, n. 1, p. 49-53, 1991. Disponível em:  
<https://aiche.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1021/bp00007a008>.

SALDAÑA, E. *et al.* Use of sensory science for the development of healthier processed meat products: a critical opinion. **Current Opinion in Food Science**, v. 40, p. 13-19, 2021. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214799320300424>.

SCHUBERT, H. Food particle technology. Part I: Properties of particles and particulate food systems. **Journal of Food Engineering**, v. 6, n. 1, p. 1-32, 1987. Disponível em:  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0260877487900197>.

SCHUBERT, H. Instantization of powdered food products. **International Chemical Engineering**, v. 33, p. 28-45, 1993.

SHEN, R.-L. *et al.* Sorghum resistant starch reduces adiposity in high-fat diet-induced overweight and obese rats via mechanisms involving adipokines and intestinal flora. **Food and Agricultural Immunology**, v. 26, n. 1, p. 120-130, 2015.

SHITTU, T. A.; LAWAL, M. O. Factors affecting instant properties of powdered cocoa beverages. **Food Chemistry**, v. 100, n. 1, p. 91-98, 2007. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814605007855>.

SOARES, R. R. A. *et al.* Starch digestibility and sensory acceptance of gluten free foods prepared with tannin sorghum flour. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 54, 2019. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-204X2019000103903&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2019000103903&nrm=iso).

SZUHAJ, B. F. **Lecithins: Sources, Manufacture & Uses.** American Oil Chemists' Society, 1989.

SZULC, K.; LENART, A. Water vapour adsorption properties of agglomerated baby food powders. **Journal of Food Engineering**, v. 109, n. 1, p. 135-141, 2012. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877411005176>.

TAKEITI, C. Y.; KIECKBUSCH, T. G.; COLLARES-QUEIROZ, F. P. Optimization of the jet steam instantizing process of commercial maltodextrins powders. **Journal of Food Engineering**, v. 86, n. 3, p. 444-452, 2008. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877407005493>.

TAYLOR, J. R. N.; SCHOBER, T. J.; BEAN, S. R. Novel food and non-food uses for sorghum and millets. **Journal of Cereal Science**, v. 44, n. 3, p. 252-271, 2006. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0733521006000828>.

TEIXEIRA, N. D. C. *et al.* Resistant starch content among several sorghum (*Sorghum bicolor*) genotypes and the effect of heat treatment on resistant starch retention in two genotypes. **Food Chemistry**, v. 197, p. 291-296, 2016. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814615300984>.

VARGAS-SOLÓRZANO, J. W. *et al.* Physicochemical properties of expanded extrudates from colored sorghum genotypes. **Food Research International**, v. 55, n. Supplement C, p. 37-44, 2014. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0963996913005711>.

VIALTA, A. *et al.* **Brasil Food Trends 2020.** ITAL. São Paulo: 176 p. 2010.

VISSOTTO, F. Z. **Estudo do processo de aglomeração com vapor e perda de qualidade por caking de achocolatados em pó.** 2014. 234 (Doutorado). Faculdade de Engenharia de Alimentos, UNICAMP, Campinas, São Paulo.

VISSOTTO, F. Z. *et al.* Influence of the process parameters and sugar granulometry on cocoa beverage powder steam agglomeration. **Journal of Food Engineering**, v. 97, n. 3, p. 283-291, 2010. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877409005111>.

VISSOTTO, F. Z. *et al.* Avaliação da influência dos processos de lecitinação e de aglomeração nas propriedades físicas de achocolatado em pó. **Ciênc. Tecnol. Aliment**, v. 26, n. 3, p. 666-671, 2006.

WAGNER, W.; VALENCIA, J.; ELEJABARRIETA, F. Relevance, discourse and the ‘hot’ stable core social representations—A structural analysis of word associations. **British Journal of Social Psychology**, v. 35, n. 3, p. 331-351, 1996. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.2044-8309.1996.tb01101.x>.

WEBB, P. A. Volume and density determinations for particle technologists. **Micromeritics Instrument Corp**, v. 2, n. 16, p. 01, 2001.

## CAPÍTULO I

---

Impacto dos genótipos de sorgo extrudados sobre a instantaneidade e características sensoriais de bebidas em pó e a percepção dos consumidores brasileiros sobre sorgo e bebida de cereais usando associação de palavras

---

Publicado no periódico *Journal of Cereal Science* em 2019, v.89: *Impact of extruded sorghum genotypes on the rehydration and sensory properties of soluble beverages and the Brazilian consumers' perception of sorghum and cereal beverage using word association*

## RESUMO

O sorgo é um cereal que contém muitos compostos bioativos; no entanto, seu uso na dieta humana requer o desenvolvimento de produtos que atendam às necessidades e preferências do consumidor. Seis genótipos de sorgo com diferentes cores foram analisados para desenvolver uma nova bebida. Os grãos integrais foram analisados quanto à sua composição química: taninos condensados (TC), compostos fenólicos totais (CFT), capacidade antioxidante (CA) e amido resistente (AR). Após a moagem, foram processados por extrusão termoplástica para desenvolver uma bebida solúvel e então sua molhabilidade, dispersibilidade e densidade aparente e absoluta foram avaliadas. O sorgo é pouco utilizado diretamente na alimentação humana da maioria dos países, por esse motivo a percepção do consumidor sobre esse cereal foi também investigada, bem como uma avaliação da aceitação e caracterização sensorial das bebidas de sorgo feita a partir de farinha integral dos seis genótipos de sorgo. O sorgo marrom apresentou as maiores TC, CFT, CA e AR. A farinha extrudada de sorgo vermelho apresentou maior molhabilidade e aceitação sensorial, enquanto as farinhas extrudadas de sorgo branco apresentaram menores densidade absoluta, molhabilidade, dispersibilidade e aceitação sensorial. Além disso, a aceitação sensorial apresentou correlação de Pearson positiva com características boas de reidratação e o gosto residual amargo foi diretamente correlacionado com CA. Finalmente, pessoas com alguma restrição alimentar, seja por doença ou crença (intolerâncias, alergias, veganismo entre outras), consideraram o sorgo como alimento alternativo, embora tenham demonstrado que não conhecem esse cereal. O desconhecimento, assim como propriedades físicas e de reidratação afetaram a aceitação sensorial de bebidas de sorgo.



## ABSTRACT

Sorghum is a cereal containing many bioactive compounds; however, its use for the human diet requires the development of products that attend the consumer's needs and preferences. Six sorghum genotypes of different colors were analyzed to develop a new beverage. The whole grains were analyzed for their chemical composition, condensed tannins (TC), total phenolic compounds (CFT), antioxidant capacity (CA) and resistant starch (AR). After grinding they were and processed by thermoplastic extrusion to develop a soluble beverage and their wettability, dispersibility, bulk and absolute density were evaluated. Sorghum is poorly used directly in the human diet; therefore, consumer perception of sorghum was investigated, as well as the sensory characterization of the beverages. Brown sorghum presented the highest TC, CFT, CA and AR. Powder from red sorghum presented the highest wettability and sensory acceptance, whereas, powder from white sorghum had the lowest absolute density, wettability, dispersibility and sensory acceptance. Additionally, sensory acceptance presented positive Pearson's correlation with good rehydration characteristics, and the residual bitter taste was directly correlated with CA. Finally, people with food restrictions (i.e. intolerances, allergies, veganism among others) considered sorghum as an alternative food, although they do not know this cereal. The unfamiliarity, the chemical properties and solubility properties all affected the sensory acceptance.

## 1 INTRODUÇÃO

Bebidas preparadas a partir de um pó solúvel são práticas em termos de preparação, ocupam menos espaço e têm maior estabilidade microbiológica se comparadas às bebidas prontas. No entanto, de acordo com Schubert (1987), bebidas instantâneas em pó são apenas aquelas que se dispersam na água ou outro líquido com agitação mínima e sem formar grumos ou partículas, no momento do preparo. Vários processamentos têm sido usados para obtenção de alimentos em pó de rápido preparo, dentre eles, secagem por pulverização, aglomeração e extrusão, bem como a combinação desses processos. Várias técnicas analíticas têm sido utilizadas para avaliar essas características de instantaneidade, como a molhabilidade, isto é, a capacidade de molhar a superfície das partículas e a dispersabilidade, que é a ruptura das interações entre as partículas (SCHUBERT, 1993). Além da praticidade, os consumidores modernos tendem, em geral, a optar por alimentos saudáveis (MARTINS et al., 2013), isso é particularmente verdade para consumidores com restrições alimentares, seja essa restrição alimentar devido a alguma doença, como doença celíaca e intolerância a lactose ou até mesmo por alguma filosofia de vida como o veganismo ou vegetarianismo, por exemplo. O sorgo é um cereal que pode ser usado para o desenvolvimento de produtos saudáveis e que atende aos celíacos, por não conter glúten e conter níveis mais altos de compostos fenólicos, fibras e capacidade antioxidante, quando comparado ao trigo (ANUNCIACÃO et al., 2017).

Segundo Chávez et al. (2018), existem poucos produtos sem glúten disponíveis no mercado. Os autores também concluíram que a análise sensorial é a chave para o desenvolvimento de novos produtos à base de sorgo. Existem poucos exemplos de produtos sem glúten feitos com sorgo, como pipoca de sorgo (MISHRA, JOSHI ; MOHAPATRA, 2015; MISHRA, JOSHI, MOHAPATRA, et al., 2015) e bebidas alcoólicas fermentadas (EZEKIEL et al., 2015; ADINSI et al., 2017), entre outras. Queiroz et al. (2018) desenvolveram uma bebida de sorgo em pó que apresentou ótima aceitação sensorial. O resultado desses autores mostra que o sorgo poderia ser um cereal potencial para o desenvolvimento de bebidas solúveis não alcólicas. Segundo dados da FAOSTAT (2018), no mercado global e brasileiro as produções de sorgo foram de aproximadamente 57,3 e 2,2 milhões de toneladas em 2017, respectivamente. No Brasil, entretanto, esse cereal é utilizado principalmente para alimentação animal (ANUNCIACÃO et al., 2017).

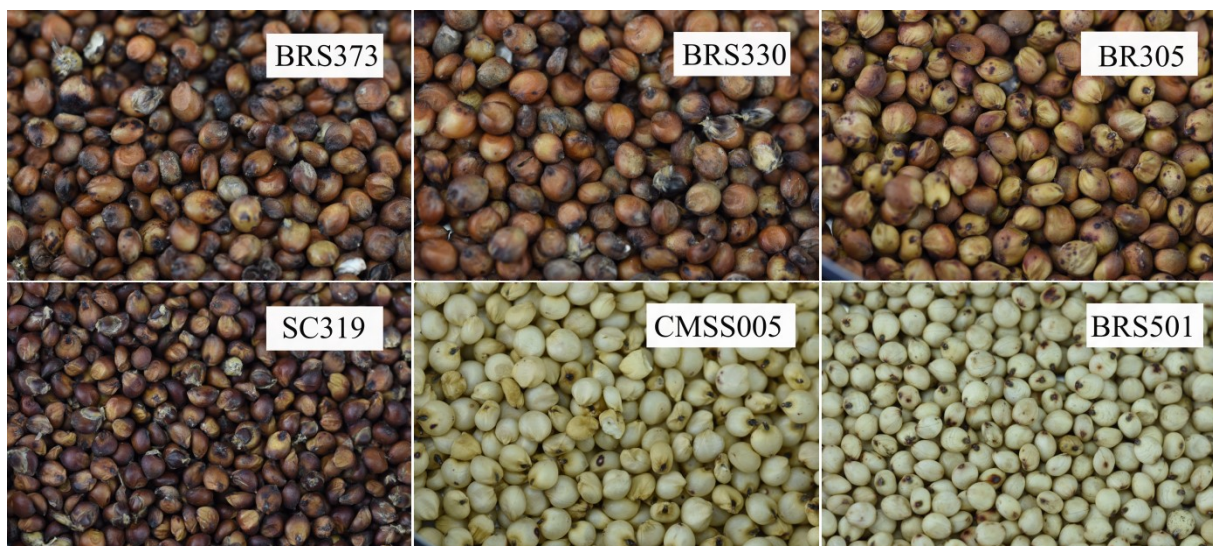
Queiroz et al. (2018) formularam essa bebida em pó à base da farinha extrudada de sorgo contendo taninos e observaram a influência negativa que esses compostos exerceram sobre a aceitação. No entanto, esses autores não avaliaram as propriedades de instantaneidade (molhabilidade, dispersabilidade), nem outras características sensoriais relacionadas ao sabor, aroma, viscosidade e aparência, embora sejam características que têm papel fundamental sobre a aceitação sensorial. Além disso, eles concluíram que outros genótipos de sorgo com diferentes conteúdos de taninos devem ser investigados para confirmar suas descobertas. Dessa forma, o objetivo deste estudo foi avaliar o potencial do sorgo integral como matéria-prima para a preparação de uma bebida adequada para brasileiros, usando o processamento por extrusão termoplástica. Além disso, este capítulo teve como objetivo avaliar e selecionar o (s) genótipo (s) de sorgo mais adequado (s) para formular uma bebida em pó a base de farinha integral de sorgo extrudada, considerando suas características químicas, sensoriais e de reidratação (instantaneidade).

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Dois estudos foram realizados para investigar o uso de diferentes genótipos de sorgo no desenvolvimento de bebida a partir da farinha extrudada. No estudo 1, foram realizadas análises químicas dos grãos e a obtenção das farinhas extrudadas, incluindo a propriedades funcionais dessas farinhas. No estudo 2, foi investigada a percepção de consumidores brasileiros em relação ao sorgo como alimento e à bebida de cereais, seguida pela caracterização e aceitação sensorial de bebidas de sorgo. A partir desses resultados foram escolhidos dois genótipos de sorgo e a proporção de mistura deles, assim como o sabor a ser adicionado posteriormente.

### 2.1 Materiais

Seis genótipos de sorgo (*Sorghum bicolor* L.) com diferentes cores no pericarpo, denominados BRS305 e SC319 (pericarpo marrom), BRS373 e BRS330 (pericarpo vermelho) e CMSS005 e BRS501 (pericarpo branco) foram plantados, colhidos e fornecidos pela Embrapa Milho e Sorgo (Sete Lagoas, Brasil) e utilizados em ambos os estudos.



**Figura 1** – Imagens dos seis genótipos de sorgo estudados.

#### 2.1.1 Espessura da testa ( $\mu\text{m}$ )

A microestrutura do pericarpo de cada genótipo foi visualizada em microscópio eletrônico de varredura (MEV) de baixo vácuo TM 3000 (Hitachi, Tokyo, Japão) a uma voltagem de aceleração de 15 kV e magnitude de 1000x. O software Image J foi utilizado para medir a espessura da testa, camada presente entre o pericarpo e aleurona do grão integral de cada genótipo, a partir das imagens obtidas por MEV.

Foram analisados em microscópio dez grãos de cada genótipo e em cada repetição a espessura dessa camada foi medida em 60 pontos.

#### 2.1.2 Fotografia dos grãos

A fotografia dos grãos e da bebida de cada genótipo foi obtida utilizando uma câmera digital Nikon D7200 (Nikon corporation, Tailândia). Essa câmera foi equipada com uma lente Macro Sigma 105 mm 1:2.8 DG MACRO HSM, zoom digital igual a 1, sem flash, velocidade da ISO de 160-ISO e modo de operação manual.

## 2.2 Estudo 1 – Obtenção da Farinha Extrudada de Sorgo Integral para a Formulações de Bebidas

### 2.2.1 Análises químicas

#### *Preparação de amostras para análise química e extrusão*

Grãos integrais de sorgo foram moídos em um moinho de martelo, cuja capacidade é de 500 kg/h (TREU, Rio de Janeiro, Brasil), usando uma malha com abertura de 1,25 mm para obter uma farinha que foi posteriormente analisada e usada no processamento por extrusão.

#### *Análise de composição centesimal*

A umidade e o teor de cinzas dos seis genótipos de sorgo foram medidos utilizando um analisador termogravimétrico TGA-2000 (Navas Instruments, Conway, EUA) a 105 e 550 °C, respectivamente, até peso constante. A quantificação lipídica foi realizada pelo método oficial Am 5-04 da American Oil Chemists Society (AOCS, 2005), a proteína foi medida pelo método de Kjeldahl 2001.11 e a fibra alimentar pelo método 985.29, ambos da AOAC (2005). Finalmente, a quantidade de carboidrato foi calculada por diferença, como permite a RDC nº 360/2003 da Anvisa.

#### *Taninos condensados (TC)*

O teor de taninos condensados foi analisado pelo método vanilina-HCl (DESPANDE; CHERYAN, 1985; DESHPANDE; CHERYAN, 1987). A farinha de sorgo (4-10g) foi misturada com 15 mL de HCl em metanol (10%), homogeneizado e armazenado sob refrigeração durante toda noite. Após esse período, as amostras foram filtradas e diluídas. Adicionou-se vanilina (4%) a uma alíquota do extrato. Após 20 min de reação, as amostras foram lidas em um espectrofotômetro UV-M51 (Bell, Monza, Itália) a 500 nm. Paralelamente, uma curva padrão com catequina foi realizada. Os resultados foram expressos em miligramas de catequina por 100 g de amostra (mg CE/100 g).

#### *Compostos fenólicos totais (CFT)*

A metodologia para quantificação de compostos fenólicos totais foi baseada no estudo de Ludwig et al. (2012), com modificações. A extração de CFT na farinha crua dos seis genótipos de sorgo foi realizada com metanol (50%) e acetona (70%). Uma alíquota de 20 µL de cada extrato foi misturada com 1580 µL de água e 100 µL de Folin-Ciocalteu. Após 2 minutos, 300 µL de solução de carbonato de sódio a 7,5% (p/v) foram adicionados, misturados e mantidos no escuro a 50 °C por 15 minutos. A absorbância foi medida em 734 nm usando um espectrofotômetro UV-1800 (Shimadzu Corporation, Kyoto, Japão). O padrão foi ácido gálico (0,03-1,5 mg/mL de metanol) e os resultados foram expressos em mg de ácido gálico equivalentes (GAE) por grama de amostra (GAE/g).

#### *Capacidade antioxidante (CA)*

##### CA pela eliminação radical da ABTS

A eliminação do radical ABTS (ABTS<sup>+</sup>) foi baseada no método de Re et al. (1999). A extração nos seis genótipos de farinha de sorgo foi realizada com metanol (50%) e acetona (70%). Foram dissolvidos 0,0384 g do sal ABTS e 0,0066 g de persulfato de potássio em 10 mL de água destilada. Esta solução foi mantida à temperatura ambiente no escuro por 16 h antes do uso. A solução ABTS<sup>+</sup> foi diluída com etanol a 95% para obter uma absorbância inicial de 0,7 ± 0,02 a 734 nm em espectrofotômetro UV-1800 (Shimadzu Corporation, Kyoto, Japão). Sete concentrações diferentes entre 0 e 2,5 µM de Trolox (ácido 6-hidroxi-2,5,7, 8-tetrametilcroman-2-carboxílico) foram usadas como padrão. Três concentrações

diferentes dos extratos das amostras (10 µL) entre 20% e 80% de inibição radical foram misturadas com 990 µL de solução ABTS<sup>+</sup> diluída. A absorbância foi lida após 30 min a 734 nm, considerando o etanol como o branco. A porcentagem de inibição foi calculada para cada extrato da amostra e concentração de Trolox usando a Equação 1. Para calcular a capacidade de antioxidante equivalente ao Trolox (TEAC), o gradiente do gráfico da porcentagem de inibição versus concentração da amostra foi dividido pelo gradiente do gráfico da porcentagem de inibição versus a concentração do Trolox.

$$\% \text{ inibição} = [(A_{\text{ABTScontrole}} - A_{\text{amostra}}) / A_{\text{ABTScontrole}}] \times 100 \quad (1)$$

Onde o controle  $A_{\text{ABTS}}$  é a absorbância do ABTS (10 µL de etanol e 990 µL de solução ABTS diluída) aos 30 min e  $A_{\text{amostra}}$  é a absorbância da amostra (10 µL da amostra e 990 µL de solução ABTS diluída) a 30 min.

#### CA pela eliminação radical da DPPH

A eliminação do radical DPPH (DPPH<sup>+</sup>) foi determinada usando o método descrito por Brand Williams et al. (1995). A extração nos seis genótipos de farinha de sorgo foi realizada com metanol (50%) e acetona (70%). Após a extração, 25 µL de cada extrato (três concentrações diferentes, entre 20 e 80% de inibição do radical) foram reagidos com 975 µL de solução etanólica de DPPH<sup>+</sup> (60 µM). A absorbância foi lida a 515 nm após 30 min em espectrofotômetro UV-1800 (Shimadzu Corporation, Kyoto, Japão), usando etanol como o branco. A porcentagem de inibição foi calculada para cada extrato da amostra e concentração de Trolox usando a Equação 2. Para calcular a capacidade de antioxidante equivalente ao Trolox (TEAC), a gradiente do gráfico da porcentagem de inibição versus concentração da amostra foi dividido pelo gradiente do gráfico da porcentagem de inibição versus a concentração do Trolox.

$$\% \text{ de inibição} = [A_{\text{DPPHcontrole}} - A_{\text{amostra}}] / A_{\text{DPPHcontrole}} \times 100 \quad (2)$$

Onde o controle  $A_{\text{DPPH}}$  é a absorbância do DPPH (25 µL de metanol com 975 µL de solução etanólica de DPPH<sup>+</sup> (60 µM)) aos 30 min, e  $A_{\text{amostra}}$  é a absorbância da amostra (25 µL da amostra com 975 µL de etanol) solução de DPPH<sup>+</sup> (60 µM) a 30 min.

#### *Amido resistente (AR)*

O AR foi determinado usando o Megazyme kit de ensaio (método AACC 32-40.01), de acordo com Teixeira et al. (2016). As amostras foram incubadas em banho-maria e agitadas com  $\alpha$ -amilase pancreática e amiloglicosidase (AMG) por 16 horas a 37 °C. A reação foi terminada pela adição de um volume igual de etanol ou álcool etílico industrial (IMS, etanol desnaturado) e o AR foi separado por centrifugação. Este amido separado foi lavado duas vezes em IMS ou etanol (50%, v / v), seguido por centrifugação. O líquido que não era de interesse foi removido por centrifugação. O amido resistente foi dissolvido em KOH 2M sob agitação vigorosa em banho de gelo. Esta solução foi neutralizada com tampão acetato e o amido foi hidrolisado quantitativamente à glicose com AMG. A D-glicose foi medida por meio de leitura em espectrofotômetro a 510 nm após reagir com o reagente glicose oxidase/peroxidase (GOPOD).

#### **2.2.1 Processamento por extrusão**

As farinhas integrais dos seis genótipos de sorgo foram pré-condicionadas a 11% de umidade. O processamento foi realizado em extrusora dupla rosca corrotacional modelo Evolum HT 25 (Clextral, Firminy, França). Os parafusos tinham um diâmetro de 25 mm,

rotação de 500 rpm e um L/D de 40 (L/D é a razão entre o comprimento e o diâmetro do canhão). A máquina foi equipada com uma matriz de quatro furos de 3,8 mm em diâmetro e a taxa de alimentação foi de 10 kg/h, usando um alimentador gravimétrico automático PWSD1 (Schenck Process, Darmstadt, Alemanha) e dez zonas de temperatura (da alimentação à matriz): 25, 40, 60, 90, 110, 110, 110, 120, 120 e 120 °C. Os extrudados expandidos foram cortados em bolinhas ao passar por um cortador acoplado à matriz e equipado com quatro facas (Clextral, Firminy, França), rodando a 900 rpm. Os extrudados foram posteriormente secos em estufa a 60 °C por 4 horas e moídos em um moinho de martelo feito de aço inoxidável com capacidade de 500 kg / h (TREU, Rio de Janeiro, Brasil) equipado com uma peneira de 1,25 mm de abertura, para obter uma farinha.

### 2.2.3 Características de reidratação (instantaneidade) da farinha de sorgo extrudada

#### *Molhabilidade (MB)*

A MB foi determinada de acordo com Fitzpatrick et al. (2016), com modificações. Uma massa de 10 g de pó foi depositada a uma determinada altura na superfície de 100 mL de água em um béquer de vidro (diâmetro de 80 mm). Após 2 minutos, o pó que não afundou foi cuidadosamente removido da superfície da água, usando uma espátula, foi submetido à secagem em estufa a 105 °C, a fim de estimar a quantidade de farinha que não afundou. A massa de farinha que afundou e desapareceu da superfície da água foi usada para estimar a porcentagem de molhabilidade como descrito na Equação (3).

$$\% \text{ MB} = 100 \times M / m_i \quad (3)$$

Onde M é a massa de pó que afundou e  $m_i$  é a massa inicial pó.

#### *Dispersabilidade (DB)*

O DB foi determinada seguindo a metodologia descrita por Nishad et al. (2017), com modificações. 1g da farinha foi adicionado a 10 mL de água destilada em um béquer de 50 mL a  $25 \pm 1$  °C, que estava sob agitação durante 30 s. Em seguida, a suspensão de farinha de sorgo foi passada através de uma peneira ASTM nº 212 (0,60 mm) e o material retido foi submetido à secagem em estufa a 105 °C, até peso constante. A dispersabilidade foi calculada usando a Equação 4.

$$\text{DB} (\%) = [(10 + A) \% \text{ TS}] / A * (100-B) \quad (4)$$

Onde A é a quantidade de farinha retida (g), B é o teor de umidade da farinha e % TS é a quantidade de matéria seca em % que passou pela peneira.

#### *Densidade absoluta (DA) e volume de poros (VP)*

DA foi determinado usando um picnômetro de hélio a gás AccuPyc II 1340 (Micromeritics, Norcross, EUA) e os dados foram analisados usando o software Accupyc II 1340 para Windows (Micromeritics, Norcross, EUA), seguindo a metodologia descrita por BERNARDO et al. (2018). O volume de poros (VP) foi calculado por meio da Equação 5.

$$\text{VP} = \text{DAP} - \text{DA} / \text{DAP} \times \text{DA} \quad (5)$$

Onde, DAP é a densidade aparente e DA é a densidade absoluta.

### *Densidade aparente (DAP) e densidade após bater (TBD)*

DAP e TBD foram mensurados de acordo com JAN et al. (2017) calculando a massa de farinha que ocupa o volume de 100 mL de uma proveta. Para TBD, a proveta contendo a amostra foi batida sobre uma superfície 15 vezes e o volume completado novamente. A DAP e TBD foram calculadas usando a Equação 6.

$$\text{DAP ou TBD} = m / v \quad (6)$$

Onde, DAP é a densidade aparente e TBD é a densidade aparente compactada; m é a massa e v é o volume.

## **2.3 Estudo 2 - Percepção do Consumidor Sobre Sorgo e Bebidas de Cereais e Avaliação Sensorial de Bebidas de Sorgo**

### **2.3.1 Estudo de associação de palavras (WA) - Procedimento experimental**

Os primeiros participantes deram suas opiniões ou comentários gratuitos sobre bebidas de sorgo e cereais. Eles foram convidados a escrever as quatro primeiras palavras, imagens, associações, pensamentos ou sentimentos que viessem à mente quando leram: cereal sorgo (estímulo 1) ou bebida de cereal (estímulo 2). Não foi fornecida nenhuma descrição, fotografia ou informação sobre o sorgo ou sobre bebida de cereais. Este estudo foi realizado de acordo com De Andrade et al. (2016), utilizando uma amostragem de consumidores brasileiros e um questionário desenvolvido no Google (<https://docs.google.com/>) com consumidores de todas as regiões do país, inclusive aqueles que têm restrições alimentares como doença celíaca ou intolerância à lactose, bem como vegetarianos e veganos, entre outros, os quais foram convidados por meio de redes sociais como Facebook e Instagram. Um total de 477 consumidores participou do estudo (76% do sexo feminino, com idades entre 18 e 65 anos), os quais participaram de acordo com seu interesse e disponibilidade. Após responderem a WA, a seguinte mensagem aparecia aos participantes: “As bebidas de cereal integral podem ser ingeridas ao longo do dia ou durante as refeições e contêm fibras, minerais, vitaminas e alguns compostos antioxidantes. Podem ser alternativas para intolerantes a lactose, vegetarianos e veganos. Seu consumo, além de proporcionar saciedade é benéfico à saúde, podendo reduzir o risco de doenças cardiovasculares e câncer”. Após essa informação, os participantes também preencheram questionário com dados sócios demográficos e questões relacionadas à restrição e hábitos alimentares. O estudo foi conduzido respeitando a aprovação pelo Comitê de Ética em Pesquisa Humana da Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil (sob o código de aprovação N°. 03591312.0.0000.5149).

### **2.3.2 Aceitação do consumidor e caracterização sensorial das bebidas de sorgo (AS)**

Foram recrutados 108 consumidores adultos, dentre eles estudantes e funcionários da Embrapa Agroindústria de Alimentos (Rio de Janeiro, Brasil). Eles foram acomodados em cabines de degustação individuais, onde receberam instruções sobre o teste.

Os consumidores receberam uma formulação em pó embalada em um pequeno saco plástico contendo 65% de farinha extrudada de sorgo e 35% de açúcar (sacarose) refinado. O consumidor foi instruído a misturar esse pó durante 15 s em 29 mL de água em um copo plástico de 50 mL, usando uma colher pequena de plástico, o que resultou em uma bebida final contendo 10% de sorgo extrudado em pó e 5% de açúcar. As bebidas dos seis genótipos foram avaliadas quanto às suas características sensoriais e à aceitação. A aceitação sensorial

foi realizada usando uma escala hedônica de 9 pontos que continha termos entre "gostei extremamente" (correspondente a 9) e "desgostei extremamente" (correspondente a 1). Solicitou-se também aos consumidores que preenchessem um formulário *check all that apply* (CATA), que consistia nos seguintes 28 termos previamente identificados (por um pequeno grupo de consumidores não treinados): solúvel, pouco solúvel, não se dissolve, muitos grumos, poucos grumos, homogêneo, brilhoso, doce, oleoso na superfície, marrom claro, marrom escuro, pontinhos pretos, aroma de pipoca, aroma de cereal, aroma de amendoim, aroma de ranço, gruda nos dentes, aguado, cremoso, arenoso, gosto residual amargo, sabor estranho, sabor de cereal, pouco doce, sabor de pipoca, sabor de ranço, sem sabor, sabor de queimado.

Ao final da análise esses participantes foram questionados em relação a qual sabor eles adicionariam à bebida de sorgo. No questionário havia a seguinte pergunta: “Qual (is) sabor (es) abaixo você adicionaria para melhorar a bebida de sorgo. Marque quantos acharem necessários”. As opções de respostas foram: chocolate; amendoim; cappuccino; café; banana; mamão e morango, levantadas pelo mesmo grupo de pessoas que identificou os termos utilizados no CATA.

## **2.4 Análises Estatísticas dos Dados**

Os resultados da análise química da farinha integral dos genótipos de sorgo e características de reidratação da farinha extrudada de sorgo foram submetidos à análise de variância unidirecional (ANOVA) para determinar se houve diferenças significativas. O teste de médias Tukey foi realizado para detectar a diferença entre as médias ( $p < 0,05$ ).

### **2.4.1 Estudo de associação de palavras**

Os dados coletados foram analisados por três pesquisadores (triangulação) aplicando a análise de conteúdo. Primeiramente, os símbolos, letras e palavras sem significado para o contexto do estudo foram desconsiderados. Em seguida, palavras com significado semelhante foram agrupadas em categorias usando codificação indutiva por triangulação, ou seja, os resultados apresentados no presente trabalho foram obtidos por consenso entre três pesquisadores. O mesmo procedimento foi usado para agrupar as categorias em dimensões. Apenas categorias e dimensões mencionadas por pelo menos 5% do total de participantes foram consideradas. A frequência de menção das palavras, categorias e dimensões foram calculadas sem considerar se as palavras foram fornecidas pelo mesmo ou por diferentes participantes (GUERRERO et al., 2010).

As respostas foram segmentadas em dois grupos considerando restrições alimentares (intolerância ao glúten, intolerância à lactose, alergias alimentares, vegetariano e vegano). Um teste do qui-quadrado ( $\chi^2$ ) foi realizado para avaliar a diferença entre os grupos de participantes NFR e FR em relação à suas percepções quanto aos estímulos (cereal sorgo ou bebida de cereal).

### **2.4.2 Questão CATA**

O teste Q de Cochran foi utilizado para identificar diferenças significativas entre as amostras para cada um dos termos do CATA (MANOUKIAN, 1986). A análise de correspondência foi aplicada às respostas da pergunta CATA, plotando os atributos e as amostras em duas dimensões, o que facilitou a interpretação.

### **2.4.3 Análise multivariada**

A análise multivariada (AMV) foi utilizada para estudar as influências de todas as diferentes variáveis (totalizando 46 que correspondem às propriedades sensoriais, químicas e



de reidratação características) sobre os genótipos de sorgo. As variáveis foram separadas em quatro grupos de acordo com a semelhança. O primeiro grupo foi formado pelos resultados de reidratação, incluindo cinco as características físicas, o terceiro grupo foi constituído pelas respostas de 10 características químicas variáveis e o quarto grupo foi determinado por respostas sensoriais com 29 variáveis. Após a análise multivariada, foi realizada clusterização hierárquica dos componentes principais (HCPC) dessa análise, para agrupar amostras semelhantes. Finalmente, um teste de correlação de Pearson foi realizado para entender as relações positivas ou negativas entre variáveis, apenas valores significativos de R ( $p < 0,05$ ) foram considerados para a discussão.

#### 2.4.4 Softwares

Todas as análises estatísticas foram realizadas usando o software R Studio versão 1.0.136 (2009-2016) e pacote FactoMineR versão 1.41. O teste  $\chi^2$  foi realizado de acordo com a metodologia (macro) descrita e criada por SYMONEAUX et al. (2012).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Características Químicas da Matéria-Prima

A composição química da farinha cru dos diferentes genótipos de sorgo é mostrada na Tabela 1 e apresentou valores semelhantes aos do estudo de Queiroz et al. (2015). O teor de umidade variou de 9,7 a 12,2 g/100g, ou seja, dentro da faixa esperada de grãos de sorgo armazenados; no entanto teor de água mais baixo é sempre interessante durante o armazenamento, quando se considera longos períodos de comercialização. Os maiores valores para o teor de cinzas foram encontrados para os genótipos de pericarpo branco (BRS501 e CMSS005). O conteúdo de proteínas variou pouco, de 9,14 (BRS373 e BRS330) a 9,93 g/100g em BRS501, sendo maior no pericarpo de cor branca, assim como o conteúdo lipídico que variou de 2,64 a 3,54% para BRS330 e BRS501, respectivamente. Já o conteúdo de fibra alimentar apresentou variação de 10,39 (BRS330) a 19,72% (BRS501). Conhecer essas diferenças nas composições centesimais das matérias-primas pode contribuir para o conhecimento do valor nutricional do produto final.

O valor do amido resistente (AR) encontrado em BRS305 (Tabela 1) foi notável (51,69 g/100g de amostra), uma vez que foi 10 vezes maior que os outros genótipos, principalmente SC319, que apresentou o menor valor, 4,91 (g /100 g), porém estatisticamente igual aos outros. Apesar de discrepante, esse valor condiz com o encontrado no estudo de Teixeira et al. (2016). O teor de taninos condensados foi maior no genótipo BRS305 (6,34 mg CE/100 g) e menor em SC319 (1,05 mg CE / 100 g), no entanto, não foi detectado nos outros genótipos. No conteúdo de CFT houve variação de 0,40 (BRS501) a 17,89 (BRS305) GAE/g, entre os genótipos, o que foi proporcional aos resultados de capacidade antioxidante que variaram de 4,13 (BRS501) a 98,73 TEAC (BRS305) pelo método CA ABTS assim como de 3,47 (BRS501) a 124,8 TEAC (BRS305) pelo método CA DPPH, indicando o efeito esperado que a presença de tanino geralmente exerce sobre o sorgo (Tabela 1). Além disso, somente os genótipos com taninos BRS305 e SC319 apresentaram testa, cujas espessuras foram de 15,72 e 10,40  $\mu\text{m}$ , respectivamente (Tabela 1).

BRS305 e SC319 se destacam mais em relação à suas características química, as quais podem estar relacionadas às características físicas de cada grão. Esses genótipos são de cor marrom e apresentam uma grande espessura da testa, que é uma das camadas observadas na estrutura botânica do grão (Figura 2), que fica situada entre o pericarpo e a camada de aleurona (EARP et al., 2004). De acordo com Awika; Rooney (2004), os níveis mais altos de taninos estão concentrados nessa camada. No presente estudo a espessura da testa foi

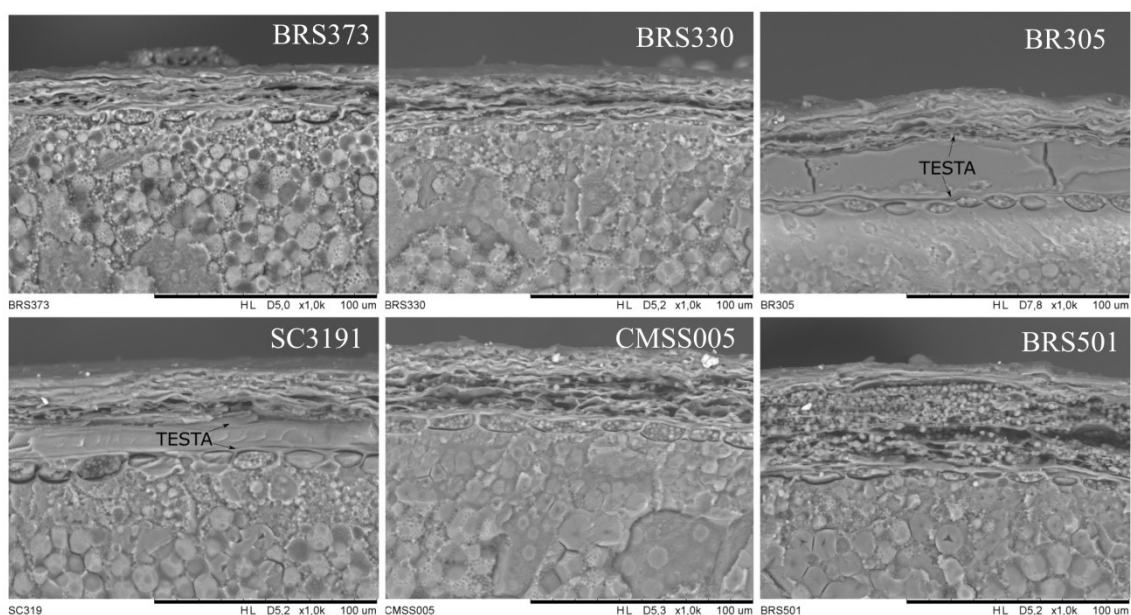
proporcional ao conteúdo de tanino, a qual também pode estar relacionada à capacidade antioxidante e ao teor de compostos fenólicos totais. Por esse motivo, o consumo de produtos feitos a partir de sorgo integral deve ser incentivado em países onde há crescimento da obesidade, por exemplo, uma vez que é uma fonte de compostos bioativos que podem promover benefícios para a saúde humana (ANUNCIACÃO et al., 2017). Jensen et al. (2004) em seu estudo, por exemplo, observaram uma correlação inversa entre a ingestão de grãos integrais e a incidência de doenças cardíacas em homens adultos; além disso, Moraes et al. (2012) concluíram que o sorgo pode ter o potencial para reduzir inflamação e estresse oxidativo nas células.

Por outro lado, o baixo teor de cinzas nos dois genótipos brancos indica que os pigmentos naturais não estão associados aos minerais presentes no pericarpo e testa, além disso, a quantidade de proteínas, lipídios e teor de amido resistente não estão correlacionadas com a espessura da testa. No entanto, o maior conteúdo de AR foi encontrado no BRS305, que é o genótipo que apresentou o maior conteúdo de compostos fenólicos totais, capacidade antioxidante e taninos condensados; adicionando assim outro benefício à saúde nesse genótipo, já que o AR pode atrasar o desenvolvimento de lesões neoplásicas no cólon (LIU ; XU, 2008), reduzir o colesterol total, assim como prevenir e tratar a obesidade (SHEN et al., 2015). O alto teor de taninos nesse genótipo pode ter contribuído para aumentar o teor de amido resistente, considerando o mecanismo de ligação entre tanino e carboidratos, conforme descrito no trabalho de Awika; Rooney (2004).

**Tabela 1** – Propriedades químicas e funcionais de genótipos de sorgo integral e características de preparo de suas farinhas extrudadas

Farinha integral de diferentes genótipos de sorgo						
	BRS373	BRS330	BRS305	SC319	CMSS005	BRS501
Umidade (g/100 g)	12,23 ± 0,02ab	12,02 ± 0,01c	12,20 ± 0,05b	12,30 ± 0,12a	10,73 ± 0,09d	9,73 ± 0,014e
Cinzas (g/100 g)	1,45 ± 0,03ac	1,33 ± 0,09d	1,35 ± 0,08d	1,51 ± 0,07c	1,72 ± 0,03b	1,80 ± 0,02a
Proteína (g/100 g)	9,14 ± 0,08c	9,14 ± 0,08c	9,68 ± 0,08b	9,63 ± 0,24b	9,83 ± 0,04ab	9,93 ± 0,12a
Lipídeos (g/100 g)	2,70 ± 0,01b	2,64 ± 0,54b	2,65 ± 0,25b	2,76 ± 0,22b	2,78 ± 0,22b	3,54 ± 0,04a
Fibra (g/100 g)	16,42a	10,39a	16,06a	15,65a	19,37a	19,72a
Carboidratos (g/100 g)	57,93a	64,28a	57,88a	58,17a	55,68a	55,14a
CFT (GAE/g)	1,96 ± 0,03cd	2,67 ± 0,24c	17,89 ± 1,52a	13,69 ± 1,09b	1,09 ± 0,26de	0,40 ± 0,10e
CAABTS (TEAC)	11,63 ± 0,77c	12,5 ± 0,67c	98,73 ± 0,61a	94,02 ± 3,59b	7,28 ± 0,25d	4,13 ± 0,27e
CADPPH (TEAC)	8,03 ± 0,20b	10,42 ± 0,41b	124,80 ± 8,98a	120,94 ± 6,17a	5,12 ± 0,25b	3,47 ± 0,32b
AR (g/100 g)	5,87 ± 0,56b	5,92 ± 0,11b	51,69 ± 0,92a	4,91 ± 0,96b	6,77 ± 1,23b	6,32 ± 0,24b
TC (mg CE/100g)	nd	Nd	6,34	1,05	nd	nd
Espessura testa (µm)	nd	Nd	15,72	10,40	nd	Nd
Farinha integral extrudada de diferentes genótipos de sorgo						
DB (g/100 g)	8,89 ± 0,42a	8,98 ± 0,21a	8,09 ± 1,13ab	9,13 ± 0,06a	6,79 ± 1,04bc	6,05 ± 1,19c
MB (g/100 g)	62,53 ± 2,09a	55,64 ± 0,92b	49,82 ± 2,90c	61,82 ± 6,87a	54,87 ± 2,70b	36,81 ± 3,65d
DAP (g/mL)	0,44 ± 0,00ab	0,45 ± 0,00a	0,38 ± 0,00c	0,44 ± 0,00ab	0,44 ± 0,00ab	0,43 ± 0,00b
TBD (g/mL)	0,50 ± 0,005b	0,51 ± 0,007ab	0,43 ± 0,001c	0,50 ± 0,00ab	0,51 ± 0,00ab	0,52 ± 0,00a
DA (g/cm <sup>3</sup> )	1,45 ± 0,00b	1,45 ± 0,005b	1,44 ± 0,00b	1,45 ± 0,00a	1,44 ± 0,00c	1,43 ± 0,00d
VP (g/mL)	0,309 ± 0,00b	0,309 ± 0,00b	0,309 ± 0,00b	0,310 ± 0,00a	0,306 ± 0,00c	0,304 ± 0,00d

Valores representam médias ± desvio padrão (n=3). Letras diferentes na mesma linha indica diferença estatística (p < 0,05); TC: Taninos condensados; CFT: Compostos fenólicos totais; CA: Capacidade antioxidante; AR: Amido resistente; DB: Dispersabilidade; MB: Molhabilidade; DAP: Densidade aparente; TBD: Densidade aparente compacta; DA: Densidade absoluta; VP: Volume de poros; nd.: não detectado. BRS305 e SC319 (pericarpo marrom), BRS373 e BRS330 (pericarpo vermelho) e CMSS005 e BRS501 (pericarpo branco)



**Figura 2** – Microscopia eletrônica de varredura da Testa (indicado na figura) dos seis genótipos de sorgo. BRS305 e SC319 (pericarpo marrom), BRS373 e BRS330 (pericarpo vermelho) e CMSS005 e BRS501 (pericarpo branco).

### 3.2 Características de Instantaneidade

As características físicas da farinha de sorgo extrudada são mostradas na Tabela 1. O genótipo extrudado BRS501 apresentou menor DA, VP, MB e DB do que os outros genótipos. CMSS005 também apresentou baixo DB, no entanto, não diferiu de BRS305 e do BRS501. BRS373 e SC319 apresentou o maior valor de MB, enquanto o BRS305 apresentou o menor DAP e menor TBD.

O fenômeno de hidratação de alimentos em pó tem sido explicado em etapas como molhabilidade e dispersibilidade. A molhabilidade é a primeira etapa e está relacionada ao primeiro contato do pó com o líquido e a capacidade desse pó para vencer a força da superfície de contato e molhar (JI et al., 2015). Todos os genótipos apresentaram molhabilidade moderada, quando comparados a outros alimentos, como leite em pó desnatado com 100% de molhabilidade sob agitação por 1 min ou chocolate em pó que após 60 min ainda apresentava apenas 50% de molhabilidade (FITZPATRICK et al., 2016). O genótipo BRS501 apresentou menor molhabilidade, provavelmente devido ao seu maior teor de lipídeos (FITZPATRICK et al., 2016) que pode ter migrado para as superfícies das partículas do pó (GAIANI et al., 2007) ou, como sugerido por Sun et al. (2014), as moléculas de amilose podem ter formado complexos com os lipídeos presente e afetaram a solubilidade dessa amostra.

DAP é a quantidade de massa que ocupa um determinado volume, incluindo o espaço e os espaços vazios entre as partículas, enquanto a densidade absoluta (DA) é a quantidade de massa que ocupa um volume absoluto, excluindo poros e espaços vazios entre as partículas (WEBB, 2001). A quantificação desses poros e espaços foi considerada como volume de poros (VP) neste trabalho. Os valores mais baixos de DA e VP encontrados no BRS501 podem ser relacionados ao seu menor valor de DB, porque DB refere-se à desintegração de aglomerado de partículas após afundar no meio líquido (GOALARD et al., 2006), portanto, um alto volume de poros facilitaria a entrada do líquido nas partículas do pó, levando à sua desintegração.

### 3.3 Percepção do Consumidor em Relação ao Sorgo e à Bebida de Cereal

Essa percepção foi avaliada usando associações de palavras, que é uma metodologia qualitativa utilizada em estudos com consumidores para investigar percepções individuais de novas tecnologias, novos produtos entre outros usos (ARES; DELIZA, 2010). O método permite que os participantes projetem sentimentos, pensamentos e sensações inconscientes porque não há respostas certas ou erradas (DONOGHUE, 2000). De acordo com DEAN et al. (2007), para aumentar o consumo de produtos integrais, é necessário primeiro entender a percepção dos consumidores a respeito desses alimentos.

Para cada estímulo (cereal de sorgo e bebida de cereal), os participantes foram segmentados em dois grupos de acordo com a restrição alimentar do participante, como segue: 1) nenhuma restrição alimentar (NFR) e 2) pessoas com restrição alimentar (FR) (pacientes celíacos, intolerantes à lactose, alergia à proteína do leite ou outros, assim como vegetarianos e veganos). Entre os 477 participantes, 77% eram do sexo feminino, a quantidade de participantes de cada faixa etária foi 18% (18 a 25 anos), 36% (26 a 35 anos), 29% (36 a 45 anos), 13% (45 a 55 anos) e 8% (> 56). Dentre eles, 233 pessoas eram FR, dos quais 90% eram mulheres, enquanto em 244 entrevistados eram NFR com 63% do sexo feminino.

Um total de 782 e 924 palavras diferentes foram mencionados quando solicitado aos participantes que anotassem as quatro primeiras palavras, imagens, associações, pensamentos ou sentimentos que viessem à mente deles quando pensavam em cereal sorgo (estímulo 1) e bebida de cereal (estímulo 2), respectivamente. As palavras foram agrupadas em 8 e 9 dimensões e 21 e 24 categorias para os estímulos 1 e 2, respectivamente. A porcentagem de menção das palavras de ambos os grupos do estímulo 1, é mostrado na Tabela 2 e do estímulo 2 na Tabela 3.

As respostas da percepção dos consumidores em relação ao sorgo e bebida de cereal também foram importantes para entender a baixa aceitação da bebida de sorgo. Para o estímulo “cereal sorgo” (Tabela 2), a categoria “desconhecido” teve a maior porcentagem de menção das palavras em ambos os grupos, mas não foram significativamente diferentes entre os grupos, indicando que os brasileiros em geral, tendo ou não restrições alimentares, não conhecem o sorgo. Como observado, as categorias “Intolerância e alergia”, “saúde”, “hedônico positivo”, “alimento alternativo” e “custo” foram mencionadas com maior frequência ( $p < 0,05$ ) pelo grupo FR, enquanto as categorias “característica sensorial”, “cereal”, “composição química”, “grão”, “agricultura” e “ração animal” foram mais mencionados pelo grupo NFR. A palavra “cereal” pode ter influenciado negativamente os pacientes celíacos (56% do grupo FR) devido sua intolerância ao glúten que está presente em alguns cereais, apesar disso, também associaram o sorgo às palavras que estavam dentro da categoria “alimento alternativo”, o que reforça a ideia de que desconhecem o sorgo. O único tratamento para a doença celíaca é uma dieta sem glúten; contudo, Comino et al. (2013) concluíram em seu estudo que, embora muitos pacientes estivessem satisfeitos com sua dieta restrita, outros gostariam de receber tratamentos alternativos ou produtos alimentícios que permitissem maior variedade.

Para o estímulo “bebida de cereal”, Tabela 3, as categorias “intolerâncias e alergias”, “preocupação com animais”, “alimentos alternativos”, “custo”, “Intenção de compra”, “não consumido” e “hedônico positivo” foram significativamente mais relevantes para os participantes do grupo FR. Ao contrário do sorgo, bebida de cereal parece familiar aos brasileiros do grupo FR, que associou este produto a alergias alimentares e intolerâncias, provavelmente por não poderem consumir a maioria dos produtos à base de cereais ou produtos à base de leite, normalmente disponíveis no mercado. Além disso, a maioria das pessoas desse grupo já provou bebida de cereal e consomem com alguma frequência (Figura 3). Esse grupo de pessoas também associou bebidas de cereal com palavras das categorias

“alimento alternativo”, “intenção de compra” e “custo”. Algumas das palavras que foram mencionadas pelos participantes e consideradas pelos pesquisadores na categoria “alimento alternativo”, foram: “alternativa”, “opção”, “substitui o leite” e “possibilidade”, provavelmente por considerarem esse produto como uma possibilidade de substituição a produtos que eles não podem consumir, e, portanto, se mostram dispostos a consumirem como pode ser observado em suas respostas (Figura 3).

Para o grupo NFR, as categorias mais mencionadas foram “saúde”, “nutrição”, “característica sensorial”, “suco”, “oleaginosas” “hedônico negativo” e “desconhecido”. Esses resultados sugerem que os participantes do grupo NFR não sabiam muito sobre este produto, porque associaram a produtos que não são à base de cereais, como soja, frutas. Este grupo, ao contrário do anterior (FR), associou a bebida de cereal à saúde e nutrição, provavelmente considerando este produto adequado apenas para aqueles que procuram por alimentos saudáveis. Além disso, associaram a características hedônicas negativas, o que pode estar relacionado ao desconhecimento em relação a esse produto e a associação com produtos totalmente diferentes, dos quais talvez eles já experimentaram e não aprovaram. Esse argumento é reforçado ao observar que a maioria das pessoas desse grupo respondeu que ainda não provaram bebida de cereal (Figura 3).

**Tabela 2** – Frequência de menção das dimensões e categorias, assim como alguns exemplos de palavras, associações, imagens, pensamentos ou sentimentos obtidos pelo estímulo “cereal sorgo” (continua)

Dimensão	Categorias (exemplos das palavras ou frases mais relevantes)	Grupo FR (n=233)	(%)	Grupo NFR (n=244)	(%)
Atípico		75		74	
	Desconhecimento (Desconhecido, nada, eu não conheço. nunca ouvir falar)	59		56	
	Curiosidade (Curiosidade, livre de glúten?, Isso tem glúten?, É bom?)	9		7	
	Exótico (Estranho, diferente, exótico, incomum)	9		11	
Saúde e Nutrição		78		23	
	Intolerância e alergia (Sem glúten, glúten, intolerância, eu posso)	35 (+) ***		0 (-) ***	
	Saúde (saúde, saudável, benéfico, funcional)	27 (+) ***		9 (-) ***	
	Nutrição (Nutritivo, nutrição, dieta, nutriente)	16		14	
Alimento		100		142	
	Características sensoriais (Amargo, vermelho, sabor, vermelho)	25 (-) ***		45 (+) ***	
	Produto (Pipoca, pão, farinha, flocos de milho)	23		16	
	Cereal (Milho, cereal, trigo, aveia)	20 (-) **		34 (+) **	
	Composição química (Fibras, carboidratos, integral, antioxidantes)	16 (-) *		25 (+) *	
	Alimento humano (alimento, nutrição humana, vegetais)	12		11	
	Grãos (Grãos, grãos secos)	4 (-) *		11 (+) *	
Agricultura e Pecuária		36		63	
	Agricultura (Agricultura, campo, grama, cultivo, produtividade, planta)	16 (-) *		24 (+) *	

	Ração animal (Ração animal, silagem, ração, pasto)	11 (-) ***	27 (+) ***
	Animal (Animais, gado, vaca, boi)	9	12
Atitudes hedônicas		21	15
	Hedônico Positivo (bom, delicioso, saboroso, ótimo)	14 (+) **	5 (-) **
	Hedônico Negativo (Ruim, sem sabor, eu não gosto, nojo)	7	10
Consumo		15	2
	Alimento Alternativo (alternativa, opção, substituto do trigo, substituí cereal com glúten)	9 (+) ***	1 (-) ***
	Não consumido (Nunca comi, eu não consumo, não utilizado, pouco usado)	6 (+) **	1 (-) **
Comércio		7	2
	Custo (caro, barato, rentável, econômico)	7 (+) *	2 (-) *
Bebidas		0	5
	Bebida (bebida, cerveja, iogurte, café)	0 (-) ***	5 (+) ***

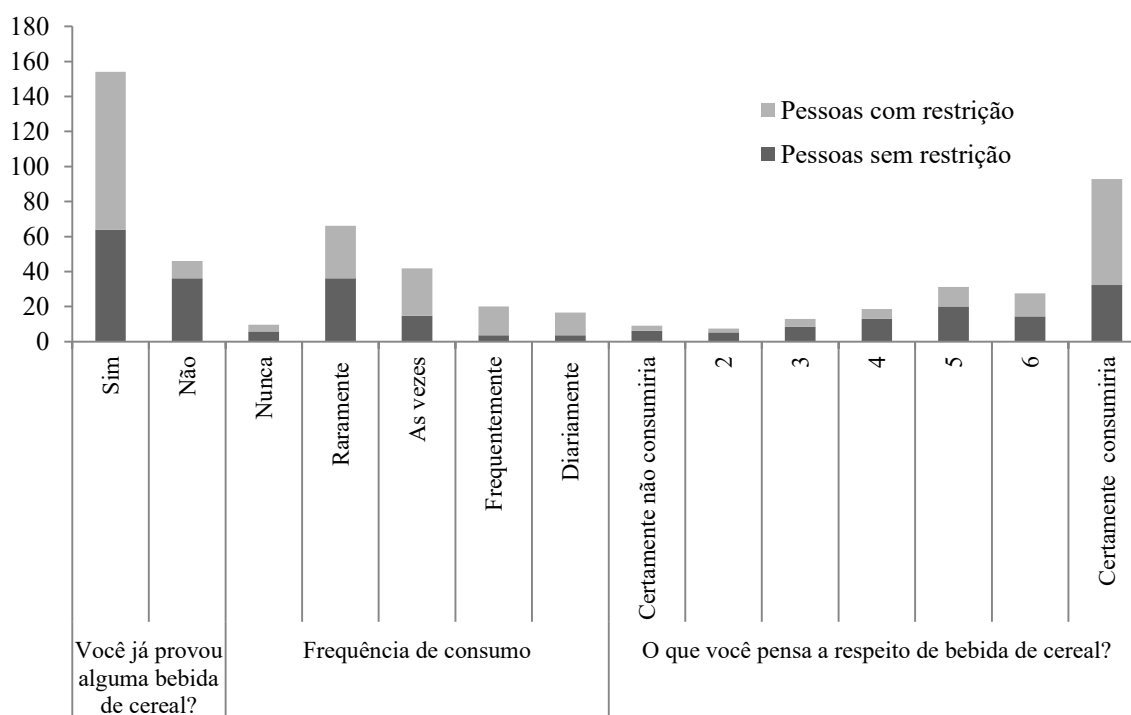
(+) ou (-) indica que o valor observado é maior ou menor que o valor esperado. NFR Pessoas sem restrição, FR pessoas com restrição, Os seguintes asteriscos indicam diferença significativa nos seguintes níveis de significância: \*\*\*  $p < 0,001$ , \*\*  $p < 0,01$  e \*  $p < 0,05$ ; efeito do  $\chi^2$  por célula.

**Tabela 3** – Frequência de menção das dimensões e categorias, assim como exemplos de palavras, imagens, associações, pensamentos e sentimentos obtidos quando o estímulo foi “bebida de cereal” (continua)

Dimensão	Categoria (exemplos das palavras ou frases mais relevantes)	Grupo (%) (n=233)	FR (%) (n=244)	Grupo (%) (n=244)	NFR (%) (n=244)
Saúde e nutrição		128		102	
	Intolerância e alergia (Contém glúten, livre de lactose, livre de glúten, alergias)	42 (+) ***		4 (-) ***	
	Saúde (Saudável, saúde, benéfico, funcional)	42 (-) *		55 (+) *	
	Nutrição (Nutritivo, dieta, nutrição, nutrientes)	26 (-) **		40 (+) **	
	Preocupação animal (Vegano, livre de crueldade animal, Sem sofrimento animal, vegetariano)	18 (+) ***		3 (-) ***	
Alimentos		64		90	
	Característica sensorial (Amargo, sabor, doce, viscoso)	32 (-) **		50 (+) **	
	Composição química (Fibra, vitamina, pura, carboidrato)	12		18	
	Cereal (Aveia, arroz, trigo, milho)	9		11	
	Produto (Iogurte, nesfit, bebida de soja, malte, granola)	9		14	
	Oleaginosas (Soja, soja com leite, castanha)	2 (-) *		7 (+) *	
Atitude hedônica		43		47	
	Hedônico positivo (saborosa, deliciosa, bom, legal)	26		20	
	Hedônico negativo (ruim, sem sabor, sabor ruim, horrível)	17 (-) *		27 (+) *	
Bebidas		33		34	
	Leite (Leite, leite de soja, leite de arroz, leite de aveia)	17		16	
	Bebida (Cerveja não alcoólica, cerveja, smoothie, bebida de aveia)	8		9	
	Suco (Suco, Suco de soja, suco de milho verde)	3 (-) **		9 (+) **	
Consumo		20		12	
	Alimento alternativo (Alternativa, opção, substitui o leite, possibilidade)	16 (+) ***		5 (-) ***	
	Hora do consumo (Café da manhã, lanche, bebida da manhã,	4		7	

Comércio	mesa de café da manhã)	18	7
	Custo (Caro, alto valor, barato)	12 (+) *	6 (-) *
	Intenção de compra (Gostaria de experimentar, experimentalia, se for gostoso compro)	6 (+) **	1 (-) **
Atípico		27	34
	Curiosidade (Curiosidade, Qual o gosto disso?, É bom?, Tem glúten?)	11	9
	Desconhecimento (Nada, desconhecido, não conheço)	8 (-) *	14 (+) *
	Exótico (Diferente, estranho, incomum, produto diferente)	5	5
Psicológico	Novidade (Inovador, inovação, novidade, pesquisa)	3	6
	Bem-estar (bem-estar, satisfação, vida, equilíbrio)	6	4
Indústria de alimentos		6	4
	Ingredientes (Açúcar, açúcar demais, sem conservantes, muito corante)	6	4

(+) ou (-) indica que o valor observado é maior ou menor que o valor esperado. NFR Pessoas sem restrição, FR pessoas com restrição. Os seguintes asteriscos indicam diferença significativa nos seguintes níveis de significância: \*\*\*  $p < 0.001$ , \*\*  $p < 0.01$  e \*  $p < 0.05$ ; efeito do  $\chi^2$  por célula.



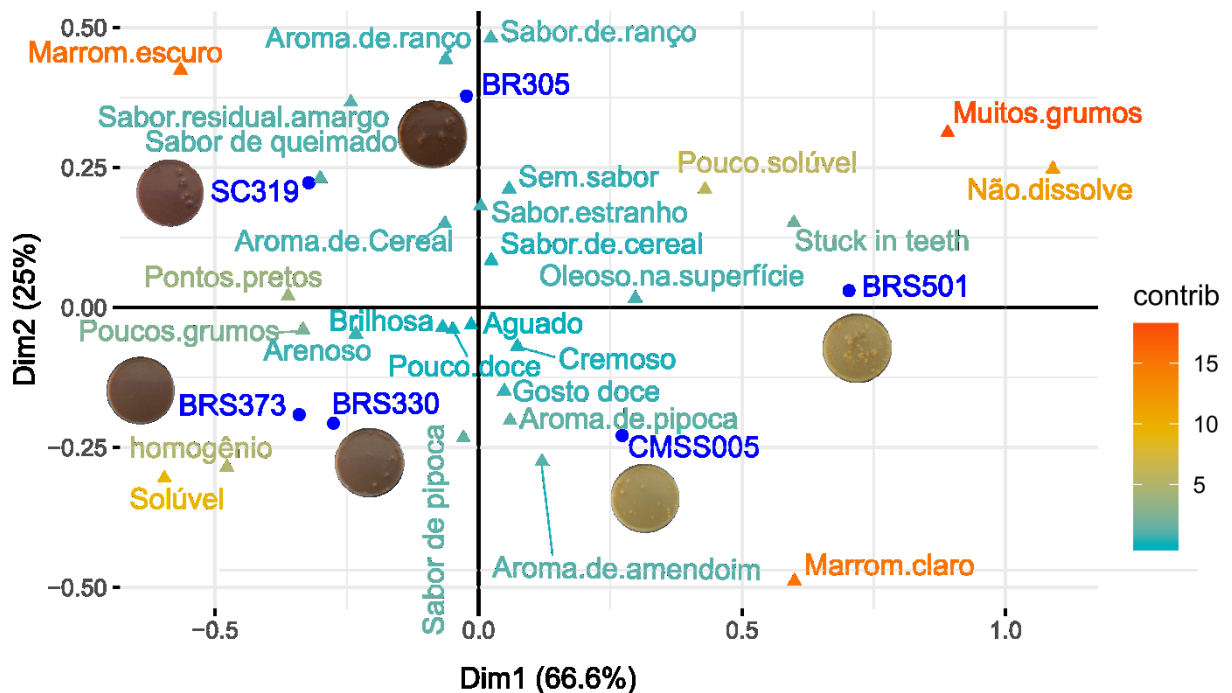
**Figura 3** – Respostas do questionário sócio demográfico aplicado após a análise de WA.

### 3.4 Aceitação Sensorial e Caracterização das Bebidas de Sorgo Integral

As notas de AS variaram de 3,23 a 4,48 (Tabela 4), que representam baixa e indiferente aceitação sensorial. Esse resultado pode estar relacionado à ausência de ingredientes que mascarassem as características dos genótipos, bem como a falta de conhecimento sobre o sorgo e bebida de cereal observada na associação de palavras. BRS373 e BRS330 apresentaram os maiores escores de aceitação em comparação com os outros genótipos. Ao contrário do que era esperado, a presença e o teor de taninos não foram os fatores que mais influenciaram na aceitação sensorial das bebidas. As amostras mais homogêneas e solúveis (nesse caso BRS373 e BRS330) receberam maiores notas de aceitação sensorial, enquanto BRS501 recebeu a menor, por apresentar muitos grumos e baixa

dissolução. De acordo com o teste de Q Cochran, dentre os 28 termos utilizados, 25 apresentaram diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre as frequências (Tabela 4), sugerindo que os consumidores ( $n = 108$ ) notaram diferenças sensoriais entre as amostras. O gráfico de atributos do CATA (Figura 4) explicou 91,6% da variabilidade do experimento para todos os atributos e mostra a contribuição de cada termo na caracterização das amostras, variando de azul (menos significativo) a laranja (mais significativo). De acordo com a análise de correspondência dos dados obtidos pelo CATA, os genótipos podem ser divididos em três grupos. O primeiro grupo composto por BRS330 e BRS373, foi caracterizado principalmente pelos termos “muito solúvel” e “homogêneo”. O segundo grupo composto por BRS501 e CMSS005 foi descrito como “pouco solúvel”, “muitos grumos”, “não dissolve” e “marrom claro”. Esses grumos podem ser observados nas pequenas fotografias da bebida inseridas no gráfico da Figura 4, ao lado de cada amostra correspondente. Finalmente, BRS305 e SC319 foram descritos pelos atributos “marrom escuro” e “sabor residual amargo”. Ao contrário de Queiroz et al. (2018), que concluíram em seu estudo que a presença de taninos condensados não reduziu a nota de aceitação sensorial; neste estudo, observou-se que a presença de taninos, embora não seja o principal motivo, contribuíram para diminuir a aceitação sensorial.

Dentre os sabores perguntados, o sabor chocolate recebeu maior nota, provavelmente devido a cor do sorgo muito próxima a de chocolate (Figura 5). Outros sabores, como frutas, talvez não combinasse com a cor marrom que as bebidas de sorgo apresentaram e com o sabor das mesmas.



**Figura 4-** Representação gráfica das características das bebidas de sorgo na primeira e segunda dimensão de acordo com a análise de correspondência dos dados obtidos pela questão CATA. BRS305 e SC319 (pericarpo marrom), BRS373 e BRS330 (pericarpo vermelho) e CMSS005 e BRS501 (pericarpo branco).

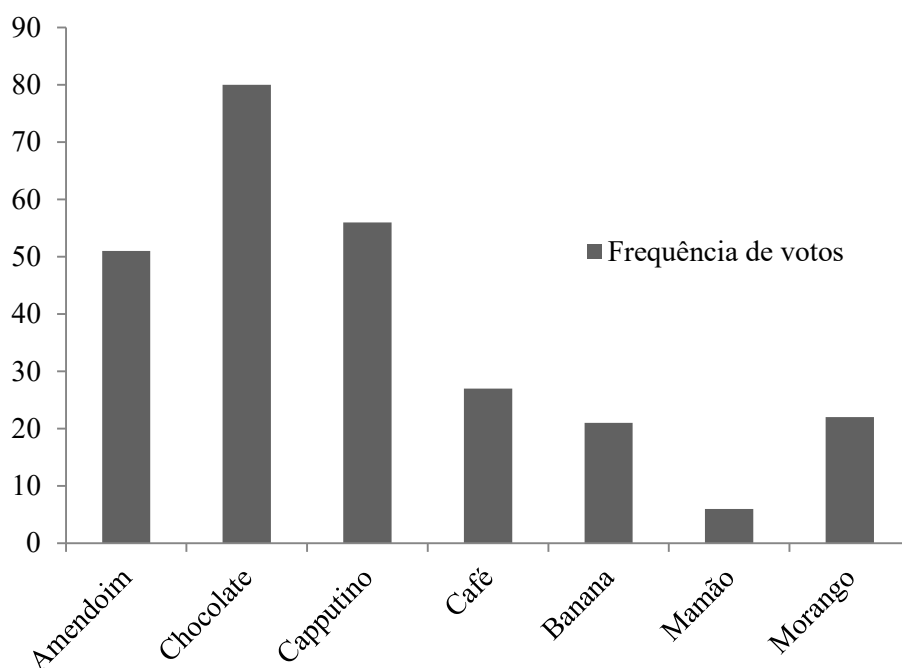


**Tabela 4** – Resultado de aceitação sensorial e frequência de menção de cada atributo da questão CATA que foram usados para descrever a bebida de sorgo dos seis genótipos.

	BRS373	BRS330	SC319	CMSS005	BRS305	BRS501
SA	4,4 ± 1,8 <sup>a</sup>	4,4 ± 1,9 <sup>ab</sup>	3,7 ± 2,0 <sup>cd</sup>	3,9 ± 2,1 <sup>bc</sup>	3,4 ± 2,0 <sup>dc</sup>	3,2 ± 1,9 <sup>c</sup>
Solúvel*	60 <sup>a</sup>	59 <sup>a</sup>	41 <sup>b</sup>	20 <sup>c</sup>	14 <sup>c</sup>	1 <sup>d</sup>
Pouco solúvel*	15 <sup>c</sup>	18 <sup>c</sup>	30 <sup>b</sup>	57 <sup>a</sup>	61 <sup>a</sup>	65 <sup>a</sup>
Não dissolve*	0 <sup>d</sup>	1 <sup>d</sup>	7 <sup>c</sup>	16 <sup>b</sup>	16 <sup>b</sup>	52 <sup>a</sup>
Muitos grumos*	3 <sup>d</sup>	5 <sup>d</sup>	13 <sup>c</sup>	35 <sup>b</sup>	48 <sup>b</sup>	91 <sup>a</sup>
Poucos grumos*	46 <sup>a</sup>	36 <sup>a</sup>	41 <sup>a</sup>	42 <sup>a</sup>	39 <sup>a</sup>	3 <sup>b</sup>
Homogêneo*	46 <sup>a</sup>	42 <sup>a</sup>	30 <sup>ab</sup>	20 <sup>bc</sup>	13 <sup>c</sup>	5 <sup>d</sup>
Brilhosa*	31 <sup>ab</sup>	41 <sup>a</sup>	35 <sup>ab</sup>	38 <sup>ab</sup>	34 <sup>ab</sup>	26 <sup>b</sup>
Oleosa na superfície*	11 <sup>ab</sup>	9 <sup>b</sup>	10 <sup>b</sup>	20 <sup>a</sup>	16 <sup>ab</sup>	20 <sup>a</sup>
Marrom claro*	32 <sup>b</sup>	40 <sup>b</sup>	5 <sup>c</sup>	83 <sup>a</sup>	5 <sup>c</sup>	81 <sup>a</sup>
Marrom escuro*	65 <sup>b</sup>	52 <sup>b</sup>	94 <sup>a</sup>	4 <sup>c</sup>	88 <sup>a</sup>	3 <sup>c</sup>
Pontos pretos*	57 <sup>ab</sup>	63 <sup>a</sup>	63 <sup>a</sup>	30 <sup>c</sup>	46 <sup>b</sup>	17 <sup>d</sup>
Aroma de pipoca*	61 <sup>a</sup>	61 <sup>a</sup>	39 <sup>b</sup>	52 <sup>ab</sup>	30 <sup>b</sup>	62 <sup>a</sup>
Aroma de cereal*	38 <sup>b</sup>	42 <sup>ab</sup>	53 <sup>a</sup>	31 <sup>b</sup>	50 <sup>a</sup>	40 <sup>ab</sup>
Aroma de amendoim*	20 <sup>b</sup>	24 <sup>b</sup>	14 <sup>b</sup>	37 <sup>a</sup>	14 <sup>b</sup>	20 <sup>b</sup>
Aroma de ranço	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	8 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	9 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>
Gruda nos dentes*	3 <sup>b</sup>	3 <sup>b</sup>	6 <sup>b</sup>	9 <sup>ab</sup>	8 <sup>ab</sup>	17 <sup>a</sup>
Aguado	54 <sup>a</sup>	50 <sup>a</sup>	42 <sup>a</sup>	45 <sup>a</sup>	48 <sup>a</sup>	47 <sup>a</sup>
Cremoso*	22 <sup>b</sup>	30 <sup>b</sup>	34 <sup>ab</sup>	44 <sup>a</sup>	24 <sup>b</sup>	29 <sup>b</sup>
Arenoso*	27 <sup>a</sup>	25 <sup>a</sup>	25 <sup>a</sup>	20 <sup>ab</sup>	21 <sup>ab</sup>	13 <sup>b</sup>
Sabor amargo residual*	7 <sup>b</sup>	8 <sup>ab</sup>	17 <sup>a</sup>	6 <sup>b</sup>	14 <sup>a</sup>	5 <sup>b</sup>
Sabor estranho*	26 <sup>b</sup>	23 <sup>b</sup>	46 <sup>a</sup>	29 <sup>b</sup>	35 <sup>ab</sup>	33 <sup>ab</sup>
Gosto doce*	37 <sup>a</sup>	34 <sup>ab</sup>	20 <sup>c</sup>	31 <sup>abc</sup>	25 <sup>bc</sup>	34 <sup>ab</sup>
Sabor de cereal*	33 <sup>b</sup>	38 <sup>ab</sup>	43 <sup>ab</sup>	42 <sup>ab</sup>	47 <sup>a</sup>	39 <sup>ab</sup>
Pouco doce	42 <sup>a</sup>	43 <sup>a</sup>	39 <sup>a</sup>	39 <sup>a</sup>	37 <sup>a</sup>	35 <sup>a</sup>
Sabor de pipoca*	56 <sup>a</sup>	51 <sup>a</sup>	30 <sup>bc</sup>	41 <sup>b</sup>	25 <sup>c</sup>	42 <sup>ab</sup>
Sabor de ranço*	2 <sup>b</sup>	3 <sup>b</sup>	11 <sup>a</sup>	2 <sup>b</sup>	6 <sup>ab</sup>	7 <sup>ab</sup>
Sabor de queimado*	11 <sup>ab</sup>	14 <sup>a</sup>	20 <sup>a</sup>	5 <sup>b</sup>	14 <sup>a</sup>	7 <sup>b</sup>
Sem sabor*	9 <sup>b</sup>	12 <sup>ab</sup>	16 <sup>ab</sup>	15 <sup>ab</sup>	21 <sup>a</sup>	14 <sup>ab</sup>

Diferentes letras na mesma linha indicam diferença estatística entre as amostras ( $p < 0,05$ ). SA: Aceitação sensorial. BRS305 e SC319 (pericarpo marrom), BRS373 e BRS330 (pericarpo vermelho) e CMSS005 e BRS501 (pericarpo branco).

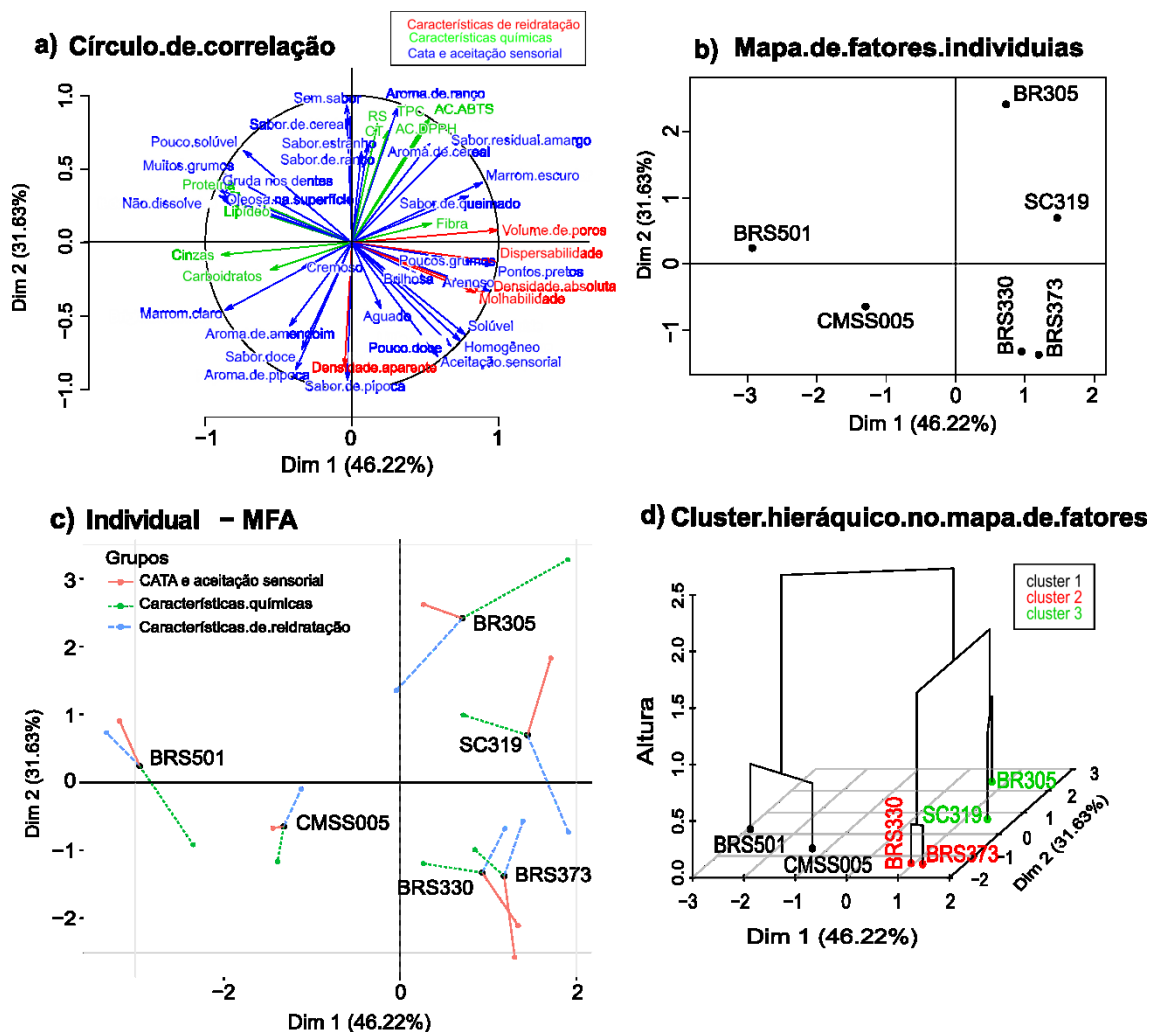
\*Atributos com diferença significativa



**Figura 5** – Sabor sugerido pelos consumidores que participaram da análise sensorial das bebidas de sorgo

### 3.5 Resultados da Análise Multivariada

Os resultados do AMV são mostrados na Figura 6. As dimensões 1 e 2 explicaram 77,85% da variabilidade dos dados. O HCPC (Fig. 4d) confirmaram os grupos formados de acordo com suas semelhanças, o que coincidiu com a cor do pericarpo dos diferentes genótipos. Entre as variáveis respostas, estão as características de reidratação (instantaneidade), químicas, características do CATA e aceitação sensorial (Fig. 4a, 4b, 4c e 4d). BRS305 e SC319 apresentaram as piores características relacionadas ao sabor (Figura 6, a e b). Por outro lado, os genótipos BRS501 e CMSS005 apresentaram características ruins de reidratação, tais como, muitos grumos, oleoso na superfície, grudam nos dentes e não dissolve. Finalmente, os genótipos BRS330 e BRS373 apresentaram os maiores valores de aceitação sensorial e características sensoriais positivas relacionadas à aparência como muito solúvel e homogêneo. Além disso, algumas correlações de Person foram estatisticamente significativas, dentre elas a aceitação sensorial foi positivamente correlacionada às características de reidratação como molhabilidade (0,757), dispersabilidade (0,634) e a alguns atributos sensoriais como: muito solúvel (0,916) e homogêneo (0,943). Já o atributo “sabor residual amargo” foi positivamente correlacionado com capacidade antioxidante: DPPH (0,963) e ABTS (0,962). O conteúdo de lipídios e proteínas apresentaram correlações positivas com “gruda nos dentes” (0,882 e 0,905, respectivamente) e “Não se dissolve” (0,823 e 0,928, respectivamente).



**Figura 6-** Análise multivariada usando 46 variáveis respostas, correspondentes às propriedades de reidratação, características químicas e respostas sensoriais: a) Círculo de correlação das variáveis respostas; b) mapa de fatores individuais; c) Clusters hierárquicos dos componentes principais da análise multivariada. BRS305 e SC319 (pericarpo marrom), BRS373 e BRS330 (pericarpo vermelho) e CMSS005 e BRS501 (pericarpo branco).

#### 4 CONCLUSÃO

Entre as características investigadas dos seis genótipos de sorgo, as propriedades de preparo da bebida (instantaneidade) e a cor do pericarpo, observados tanto por análise física, quanto sensorial, foram os fatores mais influentes na aceitação sensorial, seguida pelo teor de taninos condensados. BRS373 e SC319 apresentaram melhores características de reidratação que os demais; no entanto, o BRS305 se destacou em relação às propriedades químicas. Por esse motivo, a misturados genótipos BRS373 e BRS305 foi definida para compor a formulação do achocolatado em pó nos demais capítulos dessa tese. Da mesma forma, a adição de sabor e melhora da instantaneidade, dentre outras estratégias podem aumentar a aceitação sensorial, que devem ser avaliada por consumidores.

A associação de palavras deixou claro que os brasileiros não conhecem o sorgo; No entanto, demonstraram boas expectativas em relação a esse cereal, especialmente as pessoas que têm algum tipo de restrição alimentar. Alergias, intolerâncias ou crenças podem mudar a percepção dos consumidores sobre algum alimento.

Portanto, também é possível concluir que o sorgo é um cereal promissor como matéria-prima para a produção de bebidas devido ao conteúdo substancial de amido resistente,

fibras alimentares e outros compostos com capacidade antioxidante que esses grãos podem ter. No entanto, a introdução de sorgo na dieta brasileira ainda pode ser considerada um desafio. Isto requer esclarecimentos sobre esse cereal aos consumidores, o que pode ser feito usando campanhas de marketing adequadas e fornecendo informações na embalagem, bem como dentro dos centros de distribuição.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADINSI, L. *et al.* Comprehensive quality and potential hazards of gowe, a malted and fermented cereal beverage from West Africa. A diagnostic for a future re-engineering. **Food Control**, v. 82, n. Supplement C, p. 18-25, 2017. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956713517303171>.

ANUNCIACÃO, P. C. *et al.* Comparing sorghum and wheat whole grain breakfast cereals: Sensorial acceptance and bioactive compound content. **Food Chemistry**, v. 221, n. Supplement C, p. 984-989, 2017. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814616319148>.

ARES, G.; DELIZA, R. Identifying important package features of milk desserts using free listing and word association. **Food Quality and Preference**, v. 21, n. 6, p. 621-628, 2010. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950329310000406>.

AWIKA, J. M.; ROONEY, L. W. Sorghum phytochemicals and their potential impact on human health. **Phytochemistry**, v. 65, n. 9, p. 1199-1221, 2004. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S003194220400144X>.

BERNARDO, C. O. *et al.* Ultrasound assisted extraction of yam (*Dioscorea bulbifera*) starch: effect on morphology and functional properties. **Starch-Stärke**, v. 70, p. 5-6, 2018.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **LWT - Food Science and Technology**, v. 28, n. 1, p. 25-30, 1995. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643895800085>.

CHÁVEZ, D. *et al.* Sorghum, an alternative cereal for gluten-free product. **Revista chilena de nutrición**, v. 45, p. 169-177, 2018. Disponível em: [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0717-75182018000300169&nrm=iso](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-75182018000300169&nrm=iso).

COMINO, I. *et al.* The Gluten-Free Diet: Testing Alternative Cereals Tolerated by Celiac Patients. **Nutrients**, v. 5, n. 10, p. 4250, 2013. Disponível em: <http://www.mdpi.com/2072-6643/5/10/4250>.

DE ANDRADE, J. C. *et al.* Understanding consumers' perception of lamb meat using free word association. **Meat Science**, v. 117, p. 68-74, 2016. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0309174016300560>.

DEAN, M. *et al.* Consumer perceptions of healthy cereal products and production methods. **Journal of Cereal Science**, v. 46, n. 3, p. 188-196, 2007. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0733521007001269>.

DESHPANDE, S.; CHERYAN, M. **Evaluation of vanillin assay for tannin analysis of dry beans.** 1985. 905-910

DESHPANDE, S. S.; CHERYAN, M. Determination of Phenolic Compounds of Dry Beans Using Vanillin, Redox and Precipitation Assays. **Journal of Food Science**, v. 52, n. 2, p. 332-334, 1987. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2621.1987.tb06606.x>.

DONOGHUE, S. Projective techniques in consumer research. **Journal of Consumer Sciences**, v. 28, n. 1, p. 47-53, 2000.

EARP, C. F.; MCDONOUGH, C. M.; ROONEY, L. W. Microscopy of pericarp development in the caryopsis of Sorghum bicolor (L.) Moench. **Journal of Cereal Science**, v. 39, n. 1, p. 21-27, 2004. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0733521003000602>.

EZEKIEL, C. *et al.* Fate of mycotoxins in two popular traditional cereal-based beverages (kunu-zaki and pito) from rural Nigeria. **LWT - Food Science and Technology**, v. 60, n. 1, p. 137-141, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.08.018>.

FAOSTAT. Production of sorghum in Brazil. **Crops**, 2018. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>>. Acesso em: may 9.

FITZPATRICK, J. J. *et al.* Investigation of the rehydration behaviour of food powders by comparing the behaviour of twelve powders with different properties. **Powder Technology**, v. 297, p. 340-348, 2016. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032591016302042>.

GAIANI, C. *et al.* Relationships between dairy powder surface composition and wetting properties during storage: importance of residual lipids. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 55, n. 16, p. 6561-6567, 2007.

GOALARD, C. *et al.* Characterization of the Dispersion Behavior of Powders in Liquids. **Particle & Particle Systems Characterization**, v. 23, n. 2, p. 154-158, 2006. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ppsc.200601024>.

GUERRERO, L. *et al.* Perception of traditional food products in six European regions using free word association. **Food Quality and Preference**, v. 21, n. 2, p. 225-233, 2010. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950329309000858>.

JAN, S.; AMBROSE, R. K.; SAXENA, D. Effect of grinding action on the flowability of rice flour. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 11, p. 801-811, 2017.

JENSEN, M. *et al.* Intake of whole grains, bran, and germ and the risk of coronary heart disease in men. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 80, p. 1492-9, 2004.

Jl, J. *et al.* Effects of fluid bed agglomeration on the structure modification and reconstitution behaviour of milk protein isolate powders. **Journal of Food Engineering**, v. 167, n. Part B, p. 175-182, 2015. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877415000229>.

LIU, R.; XU, G. Effects of resistant starch on colonic preneoplastic aberrant crypt foci in rats. **Food and Chemical Toxicology**, v. 46, n. 8, p. 2672-2679, 2008. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0278691508002093>.

LUDWIG, I. A. *et al.* Extraction of coffee antioxidants: Impact of brewing time and method. **Food Research International**, v. 48, n. 1, p. 57-64, 2012. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0963996912001044>.

MANOUKIAN, E. B. **Mathematical nonparametric statistics**. 1. CRC Press; , 1986.

MARTINS, E. M. F. *et al.* Products of vegetable origin: A new alternative for the consumption of probiotic bacteria. **Food Research International**, v. 51, n. 2, p. 764-770, 2013. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0963996913000744>.

MISHRA, G.; JOSHI, D. C.; MOHAPATRA, D. Optimization of pretreatments and process parameters for sorghum popping in microwave oven using response surface methodology. **Journal of Food Science and Technology**, v. 52, n. 12, p. 7839-7849, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13197-015-1898-9>.

MISHRA, G. *et al.* Varietal influence on the microwave popping characteristics of sorghum. **Journal of Cereal Science**, v. 65, p. 19-24, 2015. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0733521015300138>.

MORAES, É. A. *et al.* In vivo protein quality of new sorghum genotypes for human consumption. **Food Chemistry**, v. 134, n. 3, p. 1549-1555, 2012. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814612005626>.

NISHAD, J. *et al.* Effect of spray drying on physical properties of sugarcane juice powder (*Saccharum officinarum* L.). **Journal of food science and technology**, v. 54, n. 3, p. 687-697, 2017.

QUEIROZ, V. A. V. *et al.* A low calorie and nutritive sorghum powdered drink mix: Influence of tannin on the sensorial and functional properties. **Journal of Cereal Science**, v. 79, p. 43-49, 2018. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0733521017304769>.

QUEIROZ, V. A. V. *et al.* Nutritional composition of sorghum [*sorghum bicolor* (L.) Moench] genotypes cultivated without and with water stress. **Journal of Cereal Science**, v. 65, n. Supplement C, p. 103-111, 2015. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0733521015300308>.

RE, R. *et al.* Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. **Free Radical Biology and Medicine**, v. 26, n. 9, p. 1231-1237, 1999. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0891584998003153>.

SCHUBERT, H. Food particle technology. Part I: Properties of particles and particulate food systems. **Journal of Food Engineering**, v. 6, n. 1, p. 1-32, 1987. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0260877487900197>.

SCHUBERT, H. Instantization of powdered food products. **International Chemical Engineering**, v. 33, p. 28-45, 1993.

SHEN, R.-L. *et al.* Sorghum resistant starch reduces adiposity in high-fat diet-induced overweight and obese rats via mechanisms involving adipokines and intestinal flora. **Food and Agricultural Immunology**, v. 26, n. 1, p. 120-130, 2015.

SUN, Q. *et al.* Physicochemical differences between sorghum starch and sorghum flour modified by heat-moisture treatment. **Food Chemistry**, v. 145, p. 756-764, 2014. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814613012314>.

SYMONEAUX, R.; GALMARINI, M. V.; MEHINAGIC, E. Comment analysis of consumer's likes and dislikes as an alternative tool to preference mapping. A case study on apples. **Food Quality and Preference**, v. 24, n. 1, p. 59-66, 2012. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950329311002047>.

TEIXEIRA, N. D. C. *et al.* Resistant starch content among several sorghum (*Sorghum bicolor*) genotypes and the effect of heat treatment on resistant starch retention in two genotypes. **Food Chemistry**, v. 197, p. 291-296, 2016. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814615300984>.

WEBB, P. A. Volume and density determinations for particle technologists. **Micromeritics Instrument Corp**, v. 2, n. 16, p. 01, 2001.



## **CAPÍTULO II**

---

Achocolatado com farinha pré-cozida de sorgo integral: Otimização da  
formulação e dos parâmetros da aglomeração

---

## RESUMO

A adição de cereal integral em achocolatados em pó pode ser considerada uma estratégia para aumentar o teor de fibras, agregando assim, valor nutricional ao produto. O objetivo nesse estudo foi otimizar uma formulação de achocolatado baseado na aceitação sensorial, assim como otimizar os parâmetros do processo de aglomeração baseado na característica de molhabilidade. Na primeira parte do estudo, um planejamento de mistura com restrições foi utilizado, variando as porcentagens de farinha extrudada de sorgo integral (FES) (30 a 50%); de açúcar (20 a 50%) e de cacau em pó (20 a 30%). A FES foi preparada com os genótipos definidos no capítulo 1, BRS305 e BRS373. Foram realizados testes sensoriais com escala hedônica de 9 pontos para avaliar a aceitação sensorial dos achocolatados, bem como foi feita a caracterização dos atributos sensoriais utilizando o método CATA (*check all that apply*), por meio da participação de 100 provadores, dentre eles 50% não informados e 50% que receberam informações a respeito do menor teor de açúcar em relação aos achocolatados convencionais e benefícios do sorgo. A formulação que apresentou maior nota de aceitação sensorial, P7 (40% de FES; 35% de açúcar; 25% de cacau; 1% de aroma), foi selecionada para utilizar na segunda parte do estudo, que consistiu na aglomeração com vapor. Para o estudo do processo de aglomeração, foi utilizado um planejamento composto central rotacional  $2^3$ , no qual foram avaliadas as variações de temperatura de secagem (74 a 90 °C), pressão de vapor (1,0 a 1,8 x 10<sup>2</sup> kPa) e vazão de sólidos (260 a 786 g/min), totalizando 18 tratamentos, uma amostra apenas formulada foi considerada como controle (F1). Foram realizadas análises de cor, tempo de molhabilidade, microscopia eletrônica de varredura e análise de imagens usando o programa image J. O açúcar teve efeito positivo na aceitação, assim como a informação (antes da análise sensorial) sobre as características benéficas do sorgo e o menor conteúdo de açúcar nas amostras, aumentou a aceitação. Já o aumento de FES e de cacau afetou negativamente a aceitação sensorial. Os parâmetros da aglomeração não apresentaram efeito significativo ( $p > 0.05$ ) sobre a molhabilidade, no entanto reduziu o tempo de molhabilidade. As amostras processadas com 1,63 x 10<sup>2</sup> kPa; 74 °C; 394 g/min e com 1,40 x 10<sup>2</sup> kPa; 80 °C; 260 g/min tiveram os menores tempos de molhabilidade, sendo eles 5,49 e 5,53 min, respectivamente. A aglomeração reduziu valores de L\* e aumentou os valores de a\*, b\* e chroma. Diante do exposto é possível concluir que, informações a respeito dos benefícios de produtos contendo sorgo em relação aos produtos convencionais são importantes para inserção desse cereal na alimentação humana de brasileiros, assim como para inserção de achocolatado com sorgo no mercado. A aglomeração escureceu a cor e reduziu o tempo de molhabilidade, sendo os parâmetros que mais influenciaram nessas mudanças a pressão de vapor e a vazão de sólidos.

## ABSTRACT

The addition of whole grain in powdered chocolate can be considered a strategy to increase the fiber content, thus adding nutritional value to the product. The aim of this study was to optimize a powder chocolate formulation and its agglomeration process parameters. In the first part of the study, a Mixture Design with restrictions was used, varying the percentages of extruded whole sorghum flour (ESF) (30 to 50%); sugar (20 to 40%) and cocoa powder (20 to 30%). A hedonic scale of 9 points was used to evaluate the sensory acceptance of chocolate powder formulations, while a CATA method (check all that apply) was used to characterization of this samples sensory attributes. For sensory analysis 100 consumers participated, of, among them 50% uninformed and 50% who received information about lower sugar content and sorghum benefits. P7 (40% ESF; 35% sugar; 25% cocoa; 1% aroma), presented highest sensory acceptance score, then was chosen and used in the second part of the study, which consisted of steam agglomeration. To study the agglomeration process, a Central Rotational Composite Design  $2^3$  was used to evaluate variations in drying temperature (74 to 90 °C), vapor pressure (1.0 to 1.8 x 10<sup>2</sup> kPa) and flow of solids (260 to 786 g / min), totaling 18 treatments and a sample non agglomerated was considered as control (F1). Color analysis, wetting time, scanning electron microscopy and image analysis were performed using the Image J program. Sugar had a positive effect on acceptance, as well as information (before sensory analysis) on the beneficial characteristics of sorghum and the lower sugar content in the samples increased acceptance. The Increase of FES and cocoa affected negatively the sensory acceptance. Agglomeration parameters had no significant effect ( $p > 0.05$ ) on wettability, however, it was observed tendency to reduce wettability time. Samples processed using 1.63 x 10<sup>2</sup> kPa; 74 ° C; 394 g / min and with 1.40 x 10<sup>2</sup> kPa; 80 °C; 260 g / min showed shortest wettability, 5.49 and 5.53 minutes, respectively. Agglomeration process reduced L\* values and increased a\*, b\* and chroma values. Therefore, it is possible to conclude that information about the sorghum benefits in relation to conventional products is important for the insertion of this cereal in the human diet of Brazilians, as well as for the insertion of chocolate powder with sorghum in the market. The agglomeration process darkened the color and reduced the wettability and the parameters that most influenced these changes were vapor pressure and flow rate.

## 1 INTRODUÇÃO

A obesidade infantil tem sido um problema de saúde pública, causada principalmente devido à alimentação rica em gorduras, açúcares e falta de vitaminas, minerais e fibras alimentares (PIOLTINE et al., 2018). Segundo Ambrosini et al. (2016), o açúcar é um fator de risco mais importante do que a gordura na dieta.

No Brasil, achocolatados em pó convencionais contêm alto conteúdo de açúcar adicionado (cerca de 70% de sacarose) e são muito consumidos por pessoas de todas as idades, incluindo crianças. Segundo Lima et al. (2018), a redução do teor de açúcares adicionados em bebidas é uma das estratégias mais eficazes, em termos de custos, para alcançar mudanças de curto prazo no consumo de açúcar.

A adição de cereal integral em achocolatados em pó pode ser considerada uma estratégia para aumentar o teor de fibras, agregando assim, valor nutricional ao produto. Além de alto conteúdo de fibras, o sorgo integral, pode conter, maior capacidade antioxidante (dependendo do genótipo) quando comparado a outros cereais, devido a maior quantidade de compostos bioativos (ANUNCIACÃO et al., 2017).

Achocolatados contêm cerca de 5% a 20% de cacau em pó em suas formulações, o suficiente para dificultar a dissolução desse produto no momento de sua reconstituição em água ou leite (VISSOTTO et al., 2010), o que pode ser melhorado com aditivos e/ou processos tecnológicos, como a aglomeração. A aglomeração é um fenômeno físico, causado por condições específicas de processamento ou por aglutinantes, que promove a aderência de sólidos particulados, por forças físicas ou químicas entre as próprias partículas (PIETSCH, 1999), aumentando assim a capilaridade do pó, ou seja, quantidade de canais para melhor a penetração do líquido no qual está sendo disperso. Além disso, aglomeração contribui para melhorar a reconstituição do alimento em pó.

Os alimentos em pó exibem uma enorme heterogeneidade de tamanho, forma e estrutura (CUQ et al., 2013). A relação entre as variáveis operacionais e as propriedades físico-químicas dos aglomerados resultantes ainda precisa ser mais bem compreendida (PALZER, 2007). Alguns estudos avaliaram diferentes parâmetros da aglomeração como: teores de lecitina, granulometria do açúcar, entre outros fatores, sobre a molhabilidade, diâmetro médio das partículas, insolubilidade e cor de achocolatados em pó formulado como os convencionais (VISSOTTO et al., 2006; VISSOTTO et al., 2010; VISSOTTO et al., 2014). No estudo de Wee et al. (2020), os autores avaliaram a influência da redução de sacarose nas propriedades do pó e propriedades de reconstituição de achocolatado maltado. No entanto, não foram encontrados estudos que avaliaram os parâmetros da aglomeração em achocolatados formulados com menor teor de açúcar, utilizando farinha extrudada de sorgo integral.

O objetivo desse estudo foi formular achocolatados em pó contendo farinha extrudada de sorgo integral, utilizando os genótipos definidos no capítulo anterior (BRS373 e BRS305); Utilizar baixos teores de açúcar e avaliar o impacto da informação dos benefícios do sorgo e do baixo teor de açúcar sobre a aceitação sensorial desses achocolatados. Além disso, definir os melhores parâmetros da aglomeração com vapor e avaliar os efeitos destes sobre a molhabilidade, cor e morfologia das partículas dos achocolatados.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Materiais

Baseado nos resultados do capítulo I foram escolhidos dois genótipos de sorgo (*Sorghum bicolor L.*), o BRS305 (pericarpo marrom) devido seu maior conteúdo de compostos bioativos e o BRS373 (pericarpo vermelho) devido à maior facilidade de preparo após extrusão. Esses genótipos foram cultivados e recebidos da Embrapa Milho e Sorgo (Sete Lagoas, Brasil). Cacau em pó alcalino (Brasilcoa comércio e serviços Ltda, São Paulo, Brasil) e Açúcar (sacarose) (Boavista, São Paulo, Brasil) foram doados pelo ITAL (Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos (Campinas, Brasil). O aroma de chocolate (International flavors fragrances, New york, EUA) foi doado pela empresa Duas Rodas (Santa Catarina, Brasil).

### 2.2 Processamento Por Extrusão

#### *Acondicionamento da amostra*

Os grãos de ambos os genótipos foram moídos em moinho de martelo (TREU, Rio de Janeiro, Brasil) com malha de abertura 1,25 mm. Posteriormente foram misturados em proporções iguais e acondicionados a 11% de umidade um dia antes a extrusão.

#### *Processamento*

A farinha da mistura dos genótipos (50% BRS305 e 50% BRS373) foi extrudada como descrito por Vargas-Solórzano et al. (2014) utilizando uma extrusora de duplo parafuso co-rotacional, modelo Evolum HT 25 (Clextral, Firminy, France), equipado com alimentador gravimétrico automático PWSD1 (Shenck Process, Darmstadt, Germany), ajustado para 10 kg de sólido/h, rotação do parafuso de 500 rpm, matriz de saída de 4 furos com 3.8 mm de diâmetro cada e dotado de um canhão de dez zonas de aquecimento ajustadas às temperaturas (da alimentação à matriz): 25, 40, 60, 90, 110, 110, 110, 120, 120 e 120 °C. Os extrudados foram cortados utilizando cortador (Clextral, Firminy, France) com 4 facas, cuja rotação foi 900 rpm. Logo depois, foram secos em estufa a 60 °C durante 4 horas, moídos em moinho de martelo com capacidade de 500 kg/h (TREU, Rio de Janeiro, Brasil) e abertura de 1,25 mm para a obtenção de uma farinha extrudada de sorgo integral (FES).

### 2.3 Formulação e Caracterização Sensorial

Os achocolatados foram formulados usando um planejamento estatístico de misturas com restrições (Tabela 1), variando FES de 30 a 50%, açúcar de 20 a 50% e cacau de 20 a 30%, acrescentando 1% de aroma de chocolate para todas as amostras. Para a caracterização sensorial, as amostras em pó foram reconstituídas em leite semidesnatado (1% de gordura do leite) (10 g / 100 mL de leite). Cada provador recebeu, em cabines individuais, aproximadamente 30 mL de bebida achocolatada refrigerada, de forma monádica, sendo servida em copinho descartável codificado com números de três dígitos aleatórios. A análise foi realizada por 100 participantes divididos em dois grupos, o primeiro grupo (50 provadores) não teve nenhum tipo de informação prévia (GNI), o segundo grupo (50 provadores) foram previamente informados (GI), com a seguinte frase: “Achocolatado com sorgo tem menor açúcar que os convencionais e pode ter maior conteúdo de fibras, minerais e compostos bioativos que promovem saciedade e benefícios à saúde”.

A aceitação sensorial foi realizada usando escala hedônica de 9 pontos com termos entre gostei extremamente (9) e desgostei extremamente (1) (PERYAM ; PILGRIM, 1957). Os consumidores também foram convidados a completar um questionário *check-all-that-apply* (CATA) com 15 termos que descreviam o achocolatado, previamente levantados por

um pequeno grupo de 12 consumidores na Embrapa Agroindústria de Alimentos, que estavam familiarizados com a metodologia. Os termos foram: pouco doce, gosto doce, gosto muito doce, sabor de cereal, aroma de cereal, gosto amargo, pouco gosto amargo, sabor de chocolate, aroma de chocolate, aroma doce, muito arenoso, pouco arenoso, encorpado, aguado, sabor cappuccino. A ordem de apresentação das amostras foi balanceada. No final da análise os participantes marcaram os atributos que eles consideravam que deveriam estar presente em um achocolatado.

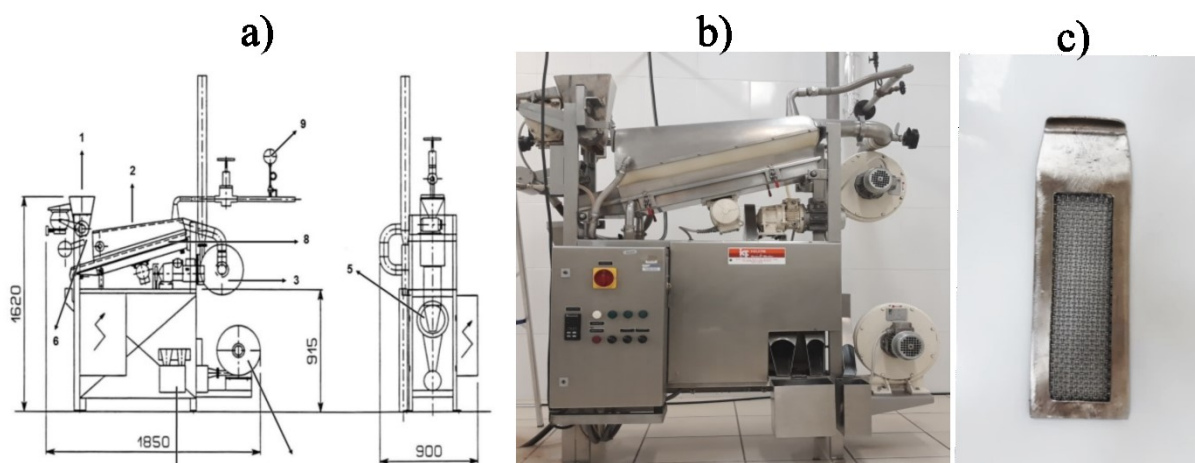
**Tabela 1-** Proporção de ingredientes no planejamento de misturas simplex-centroid com restrição

Amostra	FES (g/100g)	Açúcar (g/100g)	Cacau (g/100g)	Aroma (g/100g)
P1	50	20	30	1
P2	30	50	20	1
P3	50	30	20	1
P4	30	40	30	1
P5 (c)	40	35	25	1
P6 (c)	40	35	25	1
P7 (c)	40	35	25	1

FES: Farinha extrudada de sorgo integral.

#### 2.4 Processamento por Aglomeração

Foi escolhida a melhor formulação em função da aceitação sensorial para ser utilizada no processamento por aglomeração, acrescida de 1% de lecitina. Esse processamento foi realizado no ITAL (Instituto de Tecnologia de Alimentos, Campinas, SP), utilizando um aglomerador piloto por jato de vapor (ICF Industrie CIBEC s.p.a., Itália), cujo desenho esquemático e foto podem ser observados na Figura 1a e 1b, respectivamente. Na alimentação da formulação em pó, foi utilizada uma grelha de abertura 1,41 mm (Figura 1c). Para o processamento foi utilizado um planejamento composto central rotacional  $2^3$  (Tabela 2), variando os parâmetros: pressão de vapor, vazão de sólidos e temperatura de secagem. O controle foi uma amostra não aglomerada (F1).



**Figura 1** – a) Desenho esquemático do aglomerador ICF Industrie CIBEC. sendo (1) tremonha de alimentação, (2) sistema aquecido de aspiração de vapor e finos, (3) exaustor, (4) ventilador de ar para o secador rotativo, (5) secador rotativo, (6) difusor de vapor, (7) coletor dos aglomerados, (8) tela inclinada 45°, (9) manômetro de vapor. (Fonte: ICF Industrie

CIBEC s.p.a., Maranello, Itália); b) Foto do aglomerador ICF Industrie CIBEC, patrimônio do ITAL; c) Grelha utilizada na alimentação do pó, com 1,41mm de abertura.

**Tabela 2** – Planejamento composto central dos parâmetros da aglomeração de achocolatados com sorgo

	Pressão de vapor (x 10 <sup>2</sup> kPa)	Temperatura de secagem (°C)	Vazão de sólidos (g/min)
A1	1,16	74	394
A2	1,16	74	786
A3	1,16	86	394
A4	1,16	86	786
A5	1,63	74	394
A6	1,63	74	786
A7	1,63	86	394
A8	1,63	86	786
A9	1,0	80	590
A10	1,8	80	590
A11	1,4	69	590
A12	1,4	90	590
A13	1,4	80	260
A14	1,4	80	919
A15 (C)	1,4	80	590
A16 (C)	1,4	80	590
A17 (C)	1,4	80	590
A18 (C)	1,4	80	590

## 2.5 Molhabilidade

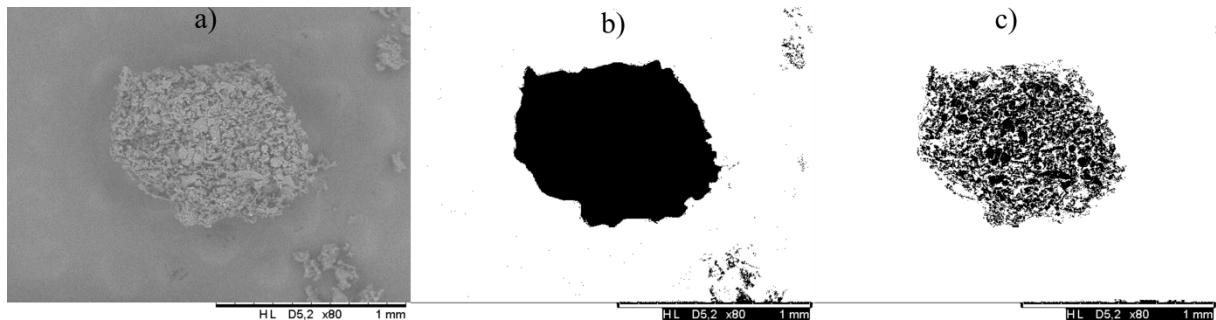
A molhabilidade (MB) foi determinada segundo Vissoto et al (2010), sendo considerado como o tempo necessário para que 2,0 g de pó depositado sobre a superfície do líquido estivessem completamente umedecidos (observado visualmente pela mudança de cor) em 400 mL de água destilada (25 °C), utilizando um equipamento de acrílico (Figura 2), com 5 repetições.



**Figura 2** – Objeto de acrílico utilizado para análise de molhabilidade.

## 2.6 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

A microestrutura dos achocolatados foram visualizadas em microscópio eletrônico de varredura de baixo vácuo TM 3000 (Hitachi, Tokyo, Japão) a uma voltagem de aceleração de 15 kV e magnitude de 1500x. A área dos aglomerados, assim como a área total de poros abertos na superfície de uma das dimensões do granulado, foi medida usando o programa Image J versão 1.x (SCHNEIDER et al., 2012). Foi aumentado o contraste das imagens e logo depois essas imagens foram transformadas em binárias e a área da região preta (partículas sólidas) e área total foram calculadas. A área de poros na superfície (APS) foi considerada como a área total menos a área preta (Figura 3), como proposto por Marcomini; Souza (2011).



**Figura 3** – Etapas da análise de imagens usando Image J. a) Fotografia por microscopia eletrônica de varredura; b) Imagem para cálculo da área do granulado; c) Imagem binária para cálculo da área das partículas (em preto).

## 2.7 Análise de cor

A cor dos achocolatados foi analisada em duplicata usando um colorímetro Color Quest XE (Hunterlab, Reston, EUA), como modo especular excluído, abertura de 0,375 mm de diâmetro e iluminante D65/10. Os parâmetros L, a\*, b\*, ΔE and \*C (chroma) foram mensurados como indicado pela International Commission on Illumination (CIE). Para a visualização das cores na apresentação dos resultados, os valores de L\*, a\* e b\* foram convertidos para R, G e B usando um conversor online (<http://colormine.org/convert/rgb-to-lab>) e o software Microsoft Power Point. Os resultados de Chroma (C\*) (Equação 1) e ΔE (Equação 2) foram calculados usando as seguintes equações.

$$C^* = [(a^*)^2 + (b^*)^2]^{1/2} \quad (1)$$

$$\Delta E = [(L_1 - L_2)^2 + (a_1 - a_2)^2 + (b_1 - b_2)^2]^{1/2} \quad (2)$$

Onde, ΔE é a magnitude da diferença total de cor entre cada amostra e o controle F1; L<sub>1</sub>, a<sub>1</sub> e b<sub>1</sub> são coordenadas do controle; L<sub>2</sub>, a<sub>2</sub> e b<sub>2</sub> são coordenadas da amostra.

## 2.8 Análises estatísticas

Todos os resultados foram submetidos à análise de variância foi utilizada ANOVA (*one way*) para determinar se houve diferenças significativas entre as médias dos tratamentos. Foi então aplicado o teste de comparação múltipla de médias de Tukey para avaliar quais tratamentos foram diferentes na análise de APS e molhabilidade (p < 0,05). Para as análises de molhabilidade e parâmetros de cor foi utilizado o teste Dunnett, para comparação entre as amostras aglomeradas e F1 (amostra controle). Para avaliar se houve diferença entre a entre os grupos (GNI e GI) foi utilizado Teste T. As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software Statistica 10 (StatSoft, Tulsa, EUA) e o software R para computação estatística, versão 3.2.4 (CORE\_TEAM, 2017). Todas as análises estatísticas foram realizadas com significância de 5% (α = 0,05).



### 2.8.1 Desenho experimental para a mistura

Foi utilizado um planejamento de misturas centroide simplex com restrição (Tabela 1). As quantidades para cada componente foram: FES (30 a 50%); açúcar (20 a 40%) e cacau em pó (20 a 30%). Os resultados foram ajustados ao seguinte modelo polinomial completo para modelo especial cúbico (Equação 3), a partir do qual foram sendo retirados os termos não significativos até chegar ao melhor modelo para cada variável resposta.

$$Y_i = \hat{\beta}_1 X_1 + \hat{\beta}_2 X_2 + \hat{\beta}_3 X_3 + \hat{\beta}_{12} X_1 X_2 + \hat{\beta}_{13} X_1 X_3 + \hat{\beta}_{23} X_2 X_3 + \hat{\beta}_{123} X_1 X_2 X_3 + \varepsilon_i \quad (3)$$

Onde,

$X_1$ ,  $X_2$  e  $X_3$  foram concentrações da FES, açúcar e do cacau em pó,

$Y$  foi a variável resposta (aceitação sensorial).

$\hat{\beta}_1$ ,  $\hat{\beta}_2$  e  $\hat{\beta}_3$  são os coeficientes do efeito linear do modelo

$\hat{\beta}_{12}$ ,  $\hat{\beta}_{13}$  e  $\hat{\beta}_{23}$  são os coeficientes do efeito quadrático do modelo

$\hat{\beta}_{123}$  é o coeficiente do efeito cúbico do modelo

### 2.8.2 Planejamento composto central

Foi utilizado um planejamento composto central rotacional (DCCR) de  $3^2$  com as seguintes variáveis independentes: temperatura de secagem (74 a 90 ° C), pressão de vapor (1,0 a 1,8 x 10<sup>2</sup> kPa) e vazão de sólidos (260 a 786 g/min), totalizando 18 tratamentos. Foram utilizados os níveis mínimo, máximo e ponto central (-1, +1 e 0 respectivamente), assim como os pontos axiais de -1,618 e +1,618 ( $-\alpha$  e  $+\alpha$ ), das variáveis independentes, com 4 repetições no ponto central. Os níveis das variáveis foram escolhidos baseados na literatura disponível.

$$Y_i = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X_1 + \hat{\beta}_2 X_2 + \hat{\beta}_3 X_3 + \hat{\beta}_{12} X_1 X_2 + \hat{\beta}_{13} X_1 X_3 + \hat{\beta}_{23} X_2 X_3 + \hat{\beta}_{11} X_1^2 + \hat{\beta}_{22} X_2^2 + \hat{\beta}_{33} X_3^2 + \varepsilon_i \quad (4)$$

Onde,  $\hat{\beta}_0$  é o intercepto da variável resposta ou o valor que a variável resposta quando todos os fatores tiverem valor de 0

$\hat{\beta}_1$ ,  $\hat{\beta}_2$  e  $\hat{\beta}_3$  são os coeficientes do efeito linear do modelo

$\hat{\beta}_{12}$ ,  $\hat{\beta}_{13}$  e  $\hat{\beta}_{23}$  são os coeficientes das interações dos fatores

$\hat{\beta}_{11}$ ,  $\hat{\beta}_{22}$  e  $\hat{\beta}_{33}$  são os coeficientes do efeito quadrático do modelo

$\varepsilon_i$  é o erro aleatório

### 2.8.3 Aplicação do teste Q de Cochran para o *Check all that Apply* (CATA)

O teste Q de Cochran foi usado para identificar diferenças significativas entre as amostras para cada um dos termos do CATA (MANOUKIAN, 1986). A análise de correspondência foi aplicada na tabela de frequências dos atributos do teste CATA para plotar atributos e amostras em novas dimensões ortogonais entre si e facilitar a interpretação.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Efeito da informação a respeito do sorgo e do teor de açúcar sobre a aceitação sensorial

O teste de aceitação foi realizado com 100 participantes, dos quais 61% eram mulheres. Dentre eles, 18% entre 18-25 anos, 20% entre 26-30 anos, 27% entre 36-45 anos,

19% entre 46-55 anos e os demais acima de 55 anos. Em relação à frequência de consumo de achocolatado, 51% e 9% consomem raramente e diariamente, respectivamente.

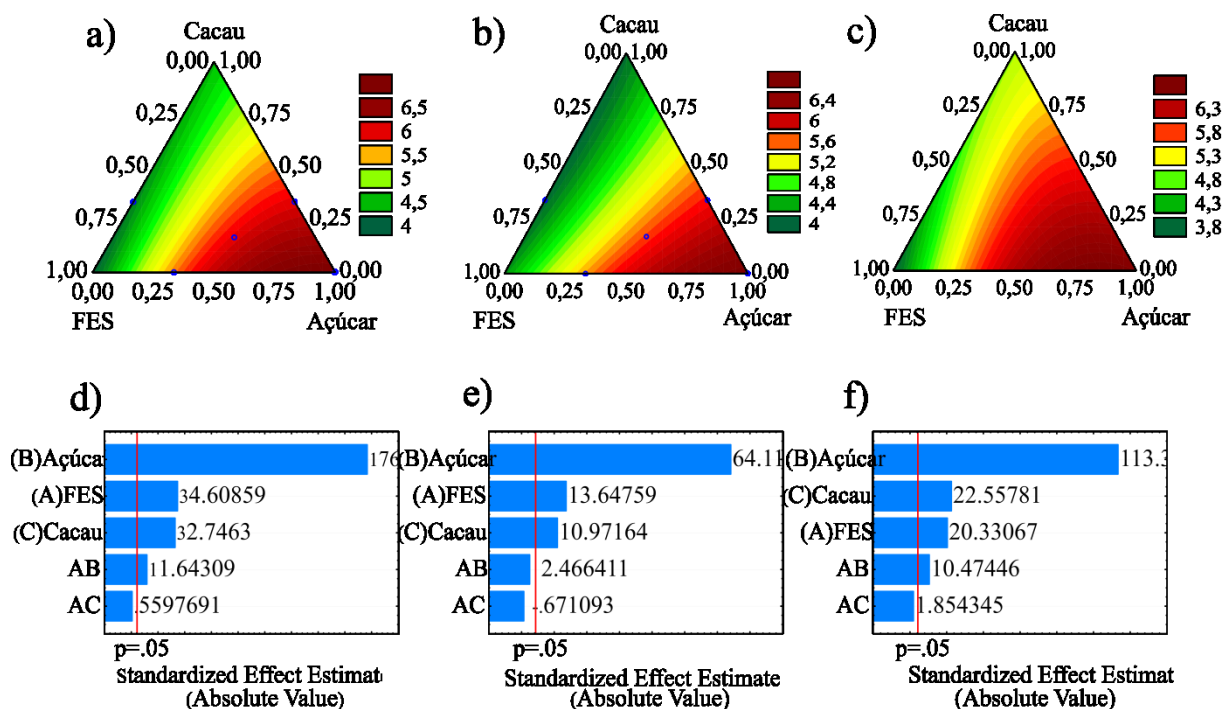
A quantidade de FES assim como o cacau e açúcar apresentaram efeito significativo ( $p < 0,05$ ) sobre a aceitação sensorial, tanto para os participantes informados, quanto para o grupo não informado (Figura 4). O açúcar foi o ingrediente que apresentou maior efeito positivo sobre essa variável resposta (Figura 4) e por isso a formulação P2 (30% FES, 50% açúcar e 20% de cacau), amostra com maior teor de açúcar apresentou maior score de aceitação sensorial (Tabela 3). Enquanto o aumento na quantidade de cacau e FES afetou negativamente a aceitação sensorial ( $p < 0,05$ ). Essa maior preferência por alimentos com maior teor de açúcar é universal e geralmente decorrentes de hábitos desde a infância. Isso ocorre, pois o gosto doce é naturalmente prazeroso (APPLETON et al., 2018). Acredita-se que a capacidade do indivíduo de detectar ou sentir doçura na cavidade oral (o processo inicial de percepção do paladar) é um dos muitos fatores que influenciam na aceitação sensorial dos alimentos (HUTCHINGS et al., 2019).

No entanto, quando as pessoas foram informadas a respeito dos benefícios do sorgo e sobre o menor teor de açúcar nos achocolatados avaliados, a aceitação sensorial de P2 não diferiu de P4, P5, P6 e P7 ( $p > 0,05$ ), as quais apresentavam maior quantidade de farinha de sorgo e menor teor de açúcar (Tabela 3). Além disso, os escores médios de aceitação sensorial de GI foi maior para todas as amostras, sobretudo para os tratamentos P5, P6 e P7 (ponto central) como pode ser observado na Figura 5, sendo apenas o tratamento P7 estatisticamente diferente. Isso demonstra certa tendência dos consumidores na aquisição de alimentos mais saudáveis. Além disso, é possível observar com esses resultados que o conhecimento sobre o benefício de um alimento pode influenciar na aceitação sensorial.

**Tabela 3** – Aceitação sensorial de achocolatado com sorgo (não aglomerado): grupo com informação (GI) e grupo sem informação (GNI)

Amostras	AS (n=100)	GNI	GI
P1	4,2 c	4,0 c, A	4,3 c, A
P2	6,6 a	6,5 a, A	6,8 a, A
P3	5,5 b	5,4 b, A	5,7 b, A
P4	5,9 b	5,7 b, A	6,1 ab, A
P5	5,9 b	5,6 b, A	6,1 ab, A
P6	5,9 b	5,7 b, A	6,2 ab, A
P7	5,9 b	5,5 b, A	6,3 ab, B

Valores representam as médias. Letras minúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferença estatística pelo teste Tukey, enquanto, letras maiúsculas diferentes na mesma linha indicam diferença estatística pelo Teste T ( $p < 0,05$ ).



**Figura 4** – Efeito dos ingredientes sobre aceitação sensorial de achocolatado com sorgo não aglomerado. a), d) Aceitação sensorial todos participantes; b), e) GNI: Grupo sem informação e c), f) GI: Grupo com informação.

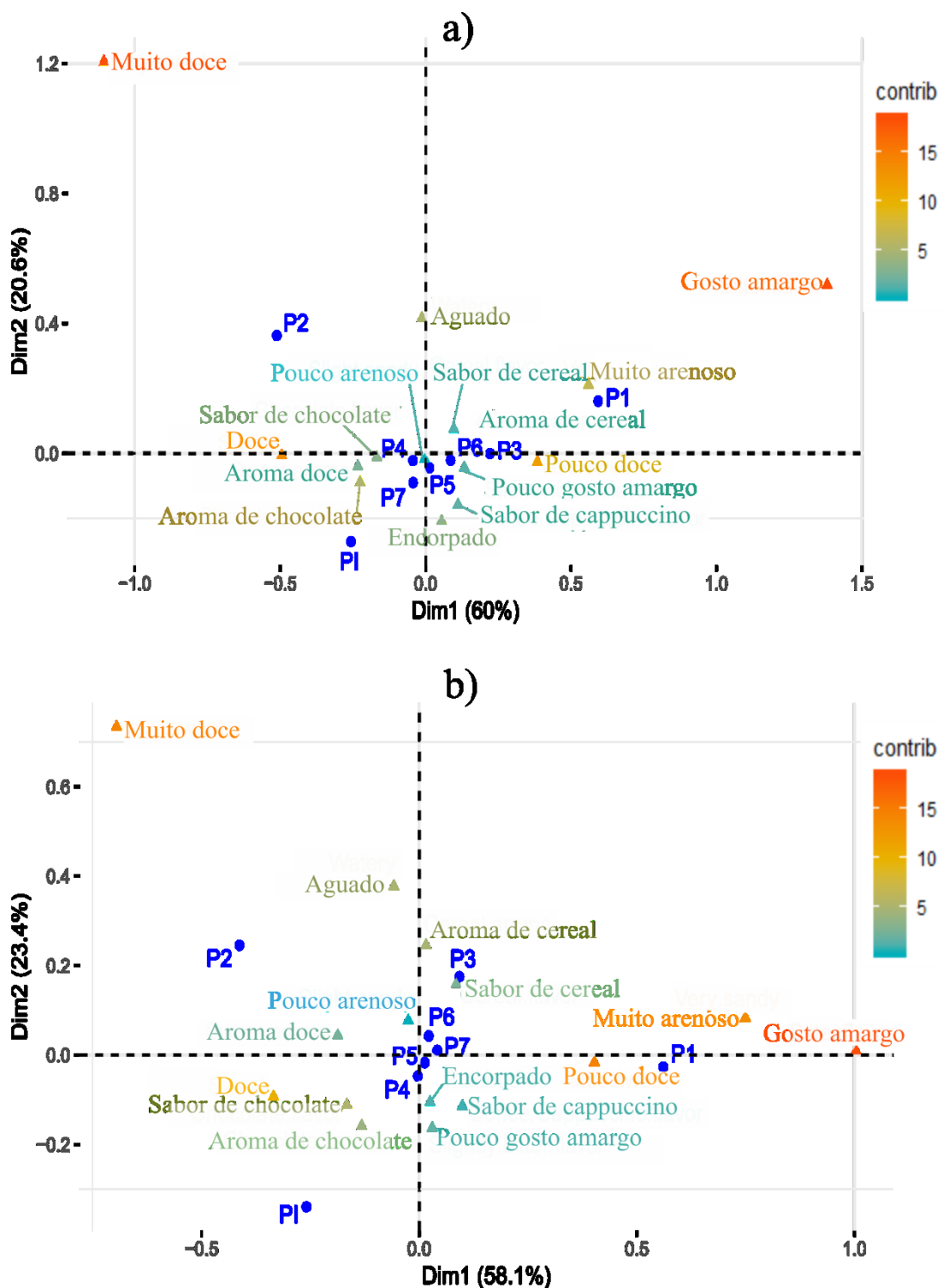
Na Figura 6 estão os gráficos de análises de correspondência referentes aos atributos do CATA, nos quais duas dimensões explicaram 80,6 e 81,5% dos dados para GI (informados) e GNI (não informados), respectivamente. Em ambos os grupos, as amostras P4, P5, P6 e P7 não se diferiram em relação às suas características, enquanto P2 (50% de açúcar) foi caracterizada pelo atributo muito doce e P1 (30% cacau e 50% FES) foi caracterizada pelos atributos: pouco doce, muito arenoso e sabor amargo, por ambos os grupos. Essa caracterização de P1, pode estar relacionado ao efeito negativo do aumento de FES e cacau na formulação (Figura 4).

Os atributos marcados como ideais em um achocolatado foram plotados com o nome PI. Para o grupo informado, as características mais importantes, ou seja, que deveriam estar presentes em PI foram aroma de chocolate, aroma doce e gosto doce, enquanto para o grupo não informado foi aroma de chocolate, sabor de chocolate e gosto doce.

### 3.2 Parâmetros da aglomeração afetam algumas características físicas de achocolatados com sorgo

A amostra P7 (40% FES; 35% de açúcar e 25% de cacau) foi escolhida para os testes de aglomeração, tendo em vista que não se diferiu de P2 pelo GI. Na Tabela 4 são apresentados os resultados de tempo de molhabilidade, cor e área de poros da superfície, mostrando que os parâmetros da aglomeração afetaram significativamente a molhabilidade e a cor, e porosidade dos granulados.

O tempo de molhabilidade foi menor para a maioria das amostras que passaram pelo processamento por aglomeração, quando comparadas a F1 (amostra não aglomerada). Os tratamentos A5 ( $1,63 \times 10^2$  kPa, 74 °C e 394 g/min) e A13 ( $1,4 \times 10^2$  kPa; 80 °C e 260 g/min) apresentaram o menor tempo de molhabilidade com 5,49 e 5,53 minutos, respectivamente (sem diferença significativa entre estas duas amostras,  $p > 0,05$ ). Enquanto, A2 ( $1,16 \times 10^2$  kPa, 74 °C e 786 g/min) e A8 ( $1,63 \times 10^2$  kPa, 86 °C e 796 g/min) apresentaram maior tempo com 15,02 e 13,27 minutos, respectivamente (Tabela 4).



**Figura 6** – Gráfico da análise de correspondência (CATA) dos achocolatados não aglomerados: a) GI; b) GNI.

Apesar disso, em todas as amostras o tempo de molhabilidade foi muito alto. Essa baixa capacidade de molhar pode ser devido ao baixo teor de açúcar das amostras aglomeradas (35 a 50%) quando comparado ao de produtos comerciais (que tendem a ter conteúdos de sacarose que variam entre 60 a 80 % de açúcar), assim como ao teor de lecitina, que pode ser aumentado para contribuir na redução da tensão superficial do líquido (JI et al.,

2017). No estudo de Wee et al. (2020), a redução da adição de sacarose em achocolatados até 10% foi aceitável para os consumidores em termos de molhabilidade, no entanto, acima desse percentual, a redução desse ingrediente aumentou o tempo de molhabilidade.

**Tabela 4** – Efeito dos parâmetros de aglomeração (Pressão de vapor, temperatura de secagem e vazão de sólidos) sobre a molhabilidade e cor dos achocolatados com sorgo aglomerados

	Cor (L)	Cor (a*)	Cor (b*)	Cor (C*)	Cor (hue)	Cor ( $\Delta E$ )	Molhabilidade (min)	APS (mm <sup>2</sup> )	Cor
F1	51,86a	10,19b	17,53b	20,28b	59,82a	0,00b	12,76a	nd	
A1	45,48b	12,19a	20,49a	23,84a	59,25b	7,32a	11,14a, BCDE	0,261AB	
A2	45,87b	12,10a	20,42a	23,74a	59,36b	6,92a	15,02a, A	0,173B	
A3	44,59b	12,42a	20,80a	24,23a	59,16b	8,28a	8,71b, EF	0,171B	
A4	44,27b	12,52a	20,90a	24,37a	59,07b	8,63a	11,48a, BCDE	0,259AB	
A5	44,35b	12,38a	20,74a	24,15a	59,15b	8,46a	5,49b, G	0,378A	
A6	44,90b	12,35a	20,67a	24,08a	59,14b	7,93a	9,38b, DEF	0,133B	
A7	44,68b	12,33a	20,67a	24,07a	59,16b	8,13a	7,54b, FG	0,230AB	
A8	45,00b	12,25a	20,45a	23,84a	59,07b	7,75a	13,27a, AB	0,177B	
A9	46,15b	12,07a	20,29a	23,61a	59,24b	6,62a	12,99a, ABC	0,268AB	
A10	44,82b	12,28a	20,55a	23,94a	59,14b	7,94a	9,45b, DEF	0,306AB	
A11	43,78b	12,69a	21,16a	24,68a	59,04b	9,21a	9,57b, DEF	0,155B	
A12	44,68b	12,43a	20,88a	24,30a	59,23b	8,24a	8,31b, EFG	0,233AB	
A13	44,66b	12,35a	20,87a	24,25a	59,37b	8,23a	5,53b, G	0,260AB	
A14	44,78b	12,64a	21,32a	24,79a	59,33b	8,40a	9,47b, DEF	0,244AB	
A15	44,45b	12,57a	21,14a	24,59a	59,26b	8,59a	12,04a, ABCD	0,219AB	
A16	44,42b	12,56a	21,02a	24,49a	59,14b	8,55a	12,20a, ABCD	0,240AB	
A17	44,47b	12,54a	21,00a	24,46a	59,14b	8,50a	9,88b, CDEF	0,215AB	
A18	44,52b	12,58a	21,07a	24,54a	59,15b	8,50a	9,13b, DEF	0,254AB	

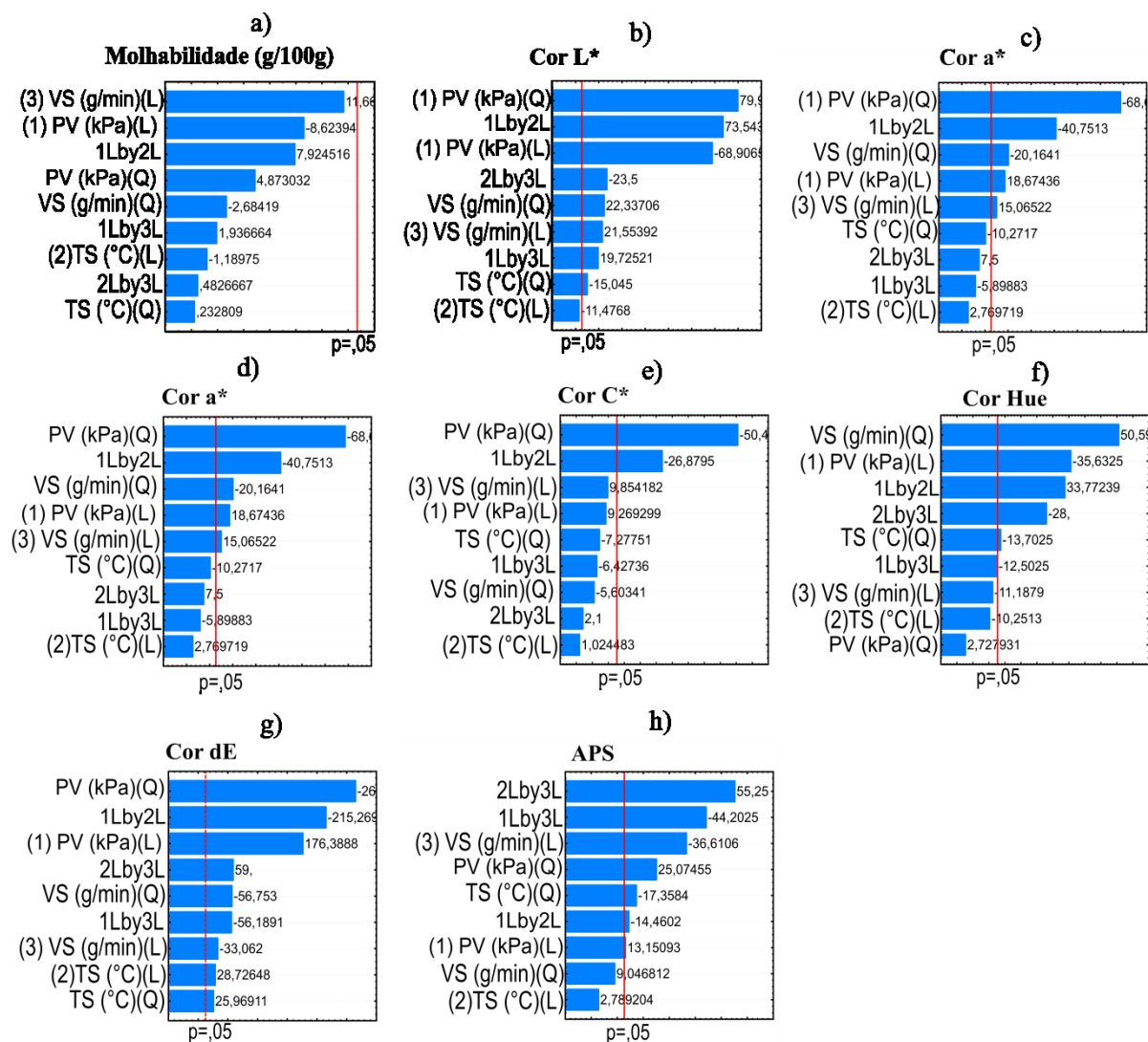
Valores representam as médias (n=3). Letras minúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferença estatística pelo teste Dunnet ( $p < 0,05$ ), enquanto letras maiúsculas na mesma coluna indicam diferença estatística pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ). APS: área de poros na superfície. nd: não analisado.

A vazão dos sólidos foi a variável que apresentou o maior efeito sobre a molhabilidade do achocolatado (Figura 6), apesar de não significativo ( $p > 0,05$ ). Na Figura 8a é possível observar um comportamento do tempo de molhabilidade em relação às variáveis do equipamento, ou seja, houve menor tempo de molhabilidade para achocolatados com sorgo quando utilizada a menor vazão de sólidos e a maior pressão de vapor (394g/min e  $1,63 \times 10^2$  kPa, respectivamente). No estudo de Vissotto et al. (2010), os autores também observaram que o aumento na vazão de sólidos reduziu o tamanho dos aglomerados, o que afetava negativamente o tempo de molhabilidade.

A variação dos parâmetros da aglomeração também afetou a cor dos achocolatados de forma significativa (Figura 7), sendo a pressão de vapor a variável de maior efeito sobre a cor dos achocolatados. A coordenada L\* apresentou menores valores, enquanto a\* e b\* apresentaram valores maiores após a aglomeração (Tabela 4). No estudo de Vissotto et al.

(2010), os autores também observaram que o aumento na pressão de vapor reduziu a luminosidade representada por L\*.

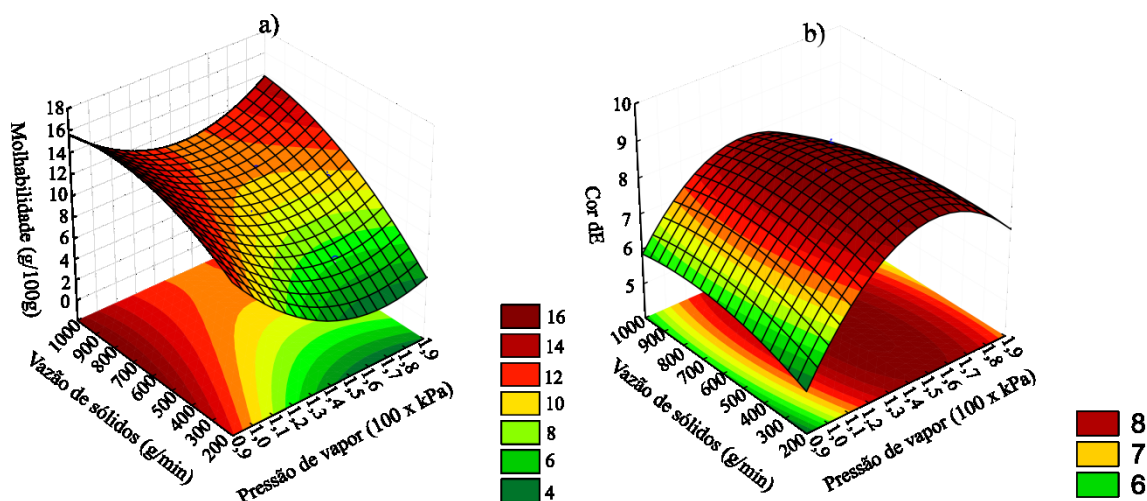
O índice chroma, que é a saturação da cor aumentou após a aglomeração, indicando coloração mais vívida após o processamento (Tabela 4), o que pode ser consequência de reações como *maillard* que ocorre por uma combinação de açúcares redutores e aminoácidos que estão presentes nos ingredientes utilizados, sob o efeito do calor e resulta no escurecimento do produto (VISSOTTO et al., 2010). Esse escurecimento e coloração mais vívida são representados visualmente na Tabela 4, e podem ser observados pela conversão desses valores em cores.



**Figura 7** – Gráfico de Pareto das características físicas dos achocolatados processados com diferentes parâmetros do aglomerador por jato de vapor: a) molhabilidade, b, c, d, e, f, g) características de cor; f) APS: área total de poros da superfície. PV: Pressão de vapor; TS: Temperatura de secagem e VS: Vazão de sólidos.

A mudança na cor após o processamento também pode ser observada pelos valores positivos de  $\Delta E$ , que utiliza o espaço L\*, a\*, b\* para definir os valores de cada cor e consequentemente a diferença ou a distância entre a cor do controle (F1) e as demais. Quanto menor o valor de  $\Delta E$  da amostra, mais próxima sua cor está do controle. A pressão de vapor e

a vazão dos sólidos foram as variáveis que mais influenciaram na mudança de cor das amostras (Figure 7), ou seja, a maior permanência do produto sob o jato de vapor, que umidifica a superfície da partícula pode aumentar a saturação da cor, escurecendo assim o produto. Na Figura 8, é possível observar que valores intermediários de pressão de vapor podem afetar mais na mudança de cor das amostras durante a aglomeração.

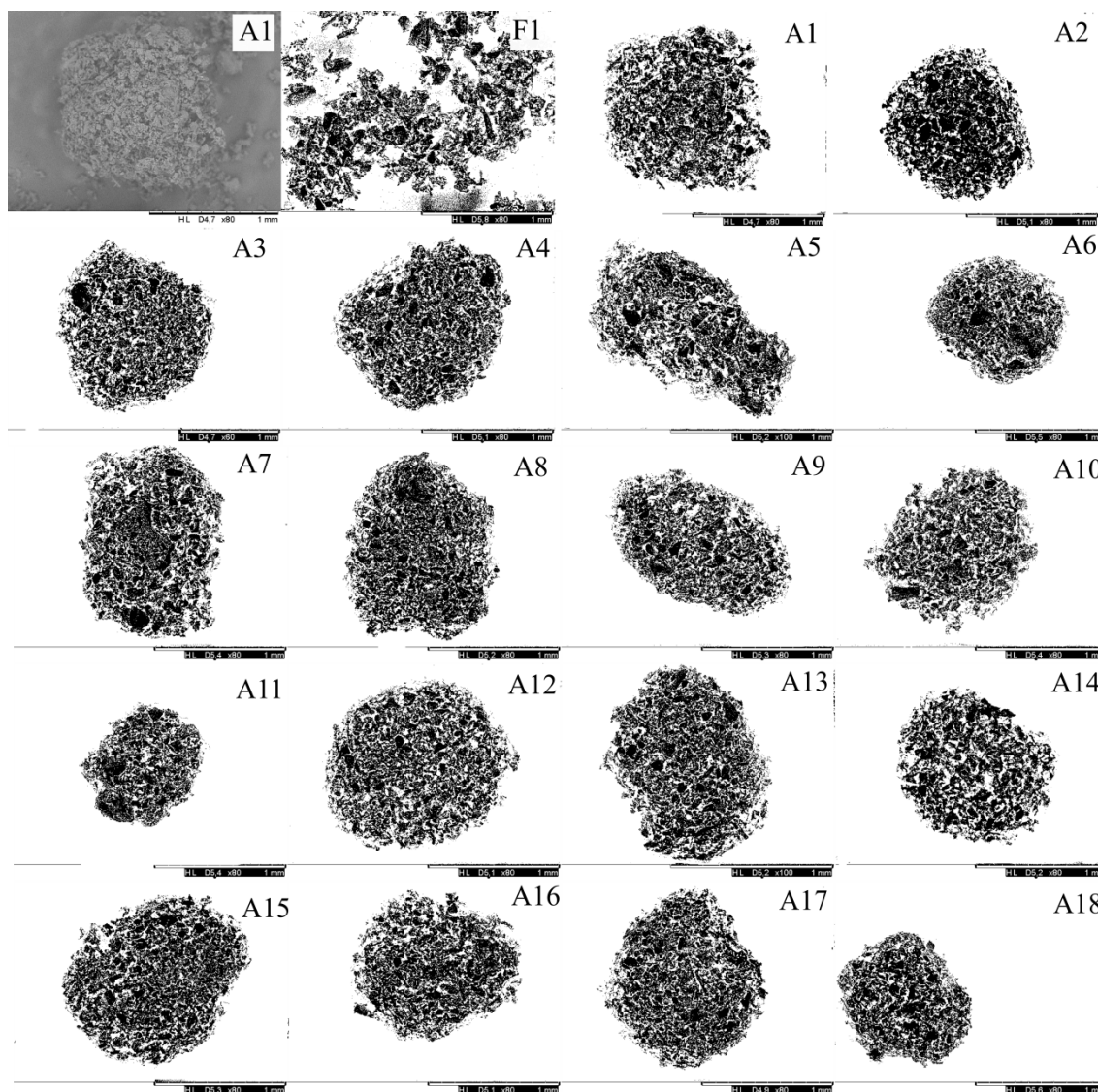


**Figura 8** - Efeito dos parâmetros da aglomeração sobre a molhabilidade (A) e mudança de cor (B) (dE) dos achocolatados com sorgo.

Na Figura 9, estão as imagens de granulados de todas as amostras, usadas para cálculo da área de poros superficiais apresentados na Tabela 4. Visualmente, pode ser observada pouca variação do formato e tamanho dos grânulos dessas amostras. Essa variação pode estar relacionada com as mudanças nos parâmetros do aglomerador (VISSOTTO et al., 2014). Na microscopia a maior diferença entre as amostras foi observada na superfície dos grânulos, ou seja, os poros em algumas amostras eram mais fechados se comparado às outras. Por essa razão, foi utilizada análise de imagem, utilizando o software Image J. Esse software é gratuito e muito utilizado principalmente nas áreas de medicina e biologia para analisar imagens digitais (BURGER ; BURGE, 2016). Na área de alimentos também já tem sido utilizado para medir, por exemplo, encapsulados obtidos por microscopia eletrônica de varredura e microscopia ótica (DE SOUZA et al., 2018).

Nas imagens, a região preta representa a área das partículas, enquanto a região branca representa a área dos poros abertos observados na superfície dos aglomerados (MARCOMINI; SOUZA, 2011). O maior valor de área de poros na superfície foi observado na amostra A5 (amostra com menor tempo de molhabilidade), apesar de não apresentar diferença significativa para algumas amostras (Tabela 4). A amostra A2 apresenta na imagem menor área vazia assim como um dos menores valores na Tabela 4, ou seja, menores canais de entrada do líquido, o que pode estar relacionado com seu maior tempo de molhabilidade. Além disso, todos os parâmetros da aglomeração tiveram efeito significativo sobre essa área de poros da superfície, sendo a vazão dos sólidos o parâmetro que mais influenciou seguido da pressão de vapor e temperatura de secagem (Figura 7h). A aglomeração deve fornecer porosidade suficiente nos aglomerados para rápida incorporação do líquido por capilaridade (aumento da molhabilidade). É um fator chave na determinação das funcionalidades de um aglomerado (CUQ et al., 2013).





**Figure 9** – Imagens binárias dos aglomerados obtidas por MEV e Image J.

#### 4 CONCLUSÃO

A informação a respeito dos benefícios do achocolatado contendo sorgo em relação aos produtos convencionais é importante para inserção desse produto no mercado, uma vez que a aceitação foi maior quando as pessoas são informadas do menor teor de açúcar e características benéficas do sorgo.

A aglomeração mostrou ser um processamento indispensável para obtenção da melhor dissolução de achocolatados em pó contendo farinha de sorgo extrudada. Esse processamento escureceu a cor do produto e reduziu o tempo de molhabilidade do produto. Os parâmetros da aglomeração que mais influenciaram nessas mudanças foram pressão de vapor e vazão de sólidos. Além disso, a porosidade pode ter influenciado no tempo de molhabilidade das amostras.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMBROSINI, G. L. *et al.* Free Sugars and Total Fat Are Important Characteristics of a Dietary Pattern Associated with Adiposity across Childhood and Adolescence. **The Journal of Nutrition**, v. 146, n. 4, p. 778-784, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.3945/jn.115.224659>. Acesso em: 4/25/2019.

ANUNCIACÃO, P. C. *et al.* Comparing sorghum and wheat whole grain breakfast cereals: Sensorial acceptance and bioactive compound content. **Food Chemistry**, v. 221, n. Supplement C, p. 984-989, 2017. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814616319148>.

APPLETON, K. M. *et al.* Sweet taste exposure and the subsequent acceptance and preference for sweet taste in the diet: systematic review of the published literature. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 107, n. 3, p. 405-419, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/ajcn/nqx031>. Acesso em: 2/5/2020.

BURGER, W.; BURGE, M. J. **Digital image processing: an algorithmic introduction using Java**. Springer, 2016.

CORE\_TEAM, R. **A language and environment for statistical computing, Austria: R Foundation for Statistical Computing** 2017.

CUQ, B. *et al.* 7 - Agglomeration/granulation in food powder production. In: BHANDARI, B.; BANSAL, N., *et al.* (Ed.). **Handbook of Food Powders**: Woodhead Publishing, 2013. p.150-177. ISBN 978-0-85709-513-8.

DE SOUZA, V. B. *et al.* Functional properties and encapsulation of a proanthocyanidin-rich cinnamon extract (*Cinnamomum zeylanicum*) by complex coacervation using gelatin and different polysaccharides. **Food Hydrocolloids**, v. 77, p. 297-306, 2018. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0268005X17308706>.

HUTCHINGS, S. C.; LOW, J. Y. Q.; KEAST, R. S. J. Sugar reduction without compromising sensory perception. An impossible dream? **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 59, n. 14, p. 2287-2307, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1450214>.

JI, J. *et al.* Enhanced wetting behaviours of whey protein isolate powder: The different effects of lecithin addition by fluidised bed agglomeration and coating processes. **Food Hydrocolloids**, v. 71, n. Supplement C, p. 94-101, 2017. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0268005X17301571>.

LIMA, M.; ARES, G.; DELIZA, R. Children and adults' sensory and hedonic perception of added sugar reduction in grape nectar. **Journal of Sensory Studies**, v. 33, n. 2, p. e12317, 2018. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/joss.12317>.

MANOUKIAN, E. B. **Mathematical nonparametric statistics**. 1. CRC Press; , 1986.

MARCOMINI, R.; SOUZA, D. Caracterização microestrutural de materiais cerâmicos utilizando o programa de processamento digital de imagens Image J. **Cerâmica**, v. 57, n. 341, p. 100-105, 2011.

PALZER, S. Drying of wet agglomerates in a continuous fluid bed: Influence of residence time, air temperature and air-flow rate on the drying kinetics and the amount of oversize particles. **Chemical Engineering Science**, v. 62, n. 1, p. 463-470, 2007. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0009250906005860>.

PERYAM, D. R.; PILGRIM, F. J. Hedonic scale method of measuring food preferences. **Food Technology**, v. 11, Suppl., p. 9-14, 1957.

PIETSCH, W. Readily engineer agglomerates with special properties from micro-and nanosized particles. v. 95, p. 67-80, 1999. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/ejemplar/69899>.

PIOLTINE, M. B. *et al.* Genetic Variations in Sweet Taste Receptor Gene Are Related to Chocolate Powder and Dietary Fiber Intake in Obese Children and Adolescents. **Journal of Personalized Medicine**, v. 8, n. 1, p. 7, 2018. Disponível em: <http://www.mdpi.com/2075-4426/8/1/7>.

SCHNEIDER, C. A.; RASBAND, W. S.; ELICEIRI, K. W. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. **Nature Methods**, v. 9, p. 671, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1038/nmeth.2089>.

VARGAS-SOLÓRZANO, J. W. *et al.* Physicochemical properties of expanded extrudates from colored sorghum genotypes. **Food Research International**, v. 55, n. Supplement C, p. 37-44, 2014. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0963996913005711>.

VISSOTTO, F. Z. *et al.* Morphological characterization with image analysis of cocoa beverage powder agglomerated with steam. **Food Science and Technology**, v. 34, p. 649-656, 2014. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0101-20612014000400001&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-20612014000400001&nrm=iso).

VISSOTTO, F. Z. *et al.* Influence of the process parameters and sugar granulometry on cocoa beverage powder steam agglomeration. **Journal of Food Engineering**, v. 97, n. 3, p. 283-291, 2010. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877409005111>.

VISSOTTO, F. Z. *et al.* Avaliação da influência dos processos de lecitinação e de aglomeração nas propriedades físicas de achocolatado em pó. **Ciênc. Tecnol. Aliment**, v. 26, n. 3, p. 666-671, 2006.

WEE, J. J. Y. *et al.* Influence of sucrose reduction on powder and reconstitution properties of powdered cocoa malted beverage. **Powder Technology**, v. 360, p. 221-230, 2020. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032591019307946>.

## **CAPÍTULO III**

---

Efeito de maltodextrinas e amidos modificados sobre as características físicas de achocolatado com farinha pré-cozida de sorgo

---

## RESUMO

As maltodextrinas e os amidos modificados são materiais amorfos que podem contribuir para a aglomeração úmida. Esses materiais são moderadamente higroscópicos e ao entrarem em contato com o vapor de água saturado durante a aglomeração por jato de vapor, podem ter sua superfície umedecida, o que proporciona o desenvolvimento de camadas viscosas e pegajosas, que dissipam a energia cinética durante a colisão das partículas e proporcionam a aglomeração. As maltodextrinas já têm sido utilizadas como ingredientes em achocolatados, no entanto, não foram encontrados estudos sobre os efeitos de amidos modificados sobre as características de instantaneidade de achocolatados. O objetivo desse estudo foi comparar maltodextrinas com diferentes dextroses equivalentes (DE) e amidos modificados e escolher um desses materiais considerando as características dos achocolatados formulados. Os materiais em estudo foram as maltodextrinas *M05* (DE 05), *M10* (DE 10), *M14* (DE 14), *M20* (DE 20) hidrolisadas de amido de milho; NF, P87, Pda (amidos modificados de mandioca), Ncr e UC (amidos modificados de milho). Foi avaliada a higroscopicidade e as propriedades de pasta desses materiais. Logo depois, os achocolatados foram formulados utilizando 25% de um desses materiais em estudo (amido, maltodextrina), 20% de farinha extrudada de sorgo integral, 35% de açúcar, 18,5 % de cacau em pó e 1,5% de lecitina em pó. Todos os ingredientes foram misturados e passados por três peneiras de 1190; 850 e 600  $\mu\text{m}$ , para reduzir os grumos formados durante a mistura desses ingredientes. Logo depois, essas amostras passaram pelo aglomerador piloto por jato de vapor. Foram então mensurados tempo de molhabilidade (MB), molhabilidade por ângulo de contato, tempo de dissolução (TD), densidade aparente (DAP), densidade absoluta (DA), volume de poros (VP), microscopia eletrônica de varredura, captura de imagens e composição centesimal dos achocolatados, os quais receberam o respectivo nome do amido ou maltodextrina com o qual foi formulado. Os amidos modificados apresentaram maior adsorção de umidade a 25°C e 50°C e maior viscosidade, no entanto as maltodextrinas atingiam a transição vítrea em menores umidades relativas. O tempo de dissolução variou de 12,75 a 626 s (em água) e 27 a 692 s (em leite), os achocolatados M05, M20 assim como NF, P87 e Pda apresentaram menor tempo de dissolução. O tempo de molhabilidade variou de 10,33 a 1256 s. sendo menor nas amostras M05 e M20 (10,33 e 29,66 s, respectivamente). Os achocolatados UC e Ncr apresentaram maior tempo de molhabilidade e dissolução. Achocolatados formulados com maltodextrina apresentaram menor densidade absoluta e maior quantidade de granulados na fração F3 (entre 500 e 850  $\mu\text{m}$ ) e F4 (> 850  $\mu\text{m}$ ), do que aos formulados com os amidos modificados. A fração F3 apresentou menor tempo de molhabilidade na maioria das amostras. Considerando os resultados obtidos, a maltodextrina M05 (DE 5) e o amido modificado P87 foram os melhores. Enquanto os amidos modificados UC e Ncr, nas condições desse estudo, não são adequados para serem usados como ingredientes em achocolatados. Adicionalmente, este trabalho propõe o estudo da molhabilidade pelo comportamento de volume de gota ao longo do tempo.

## ABSTRACT

Maltodextrins and modified starches are amorphous materials that can contribute to wet agglomeration. These materials are moderately hygroscopic and when they come in contact with saturated water vapor during steam jet agglomeration, they can have their surface wet, which provides the development of sticky layers, which dissipate kinetic energy during the collision of particles and provide agglomeration. Maltodextrins have already been used as ingredients in chocolate products, however, no studies have been found regarding the effects of modified starches on the rehydration characteristics of chocolate products. The aim of this study was to compare maltodextrins with different dextrose-equivalent (DE) and modified starches and to select one of these materials considering the characteristics of the formulated chocolate powder. The materials were maltodextrins M05 (DE 05), M10 (DE 10), M14 (DE 14), M20 (DE 20) hydrolyzed corn starch; NF, P87, Pda (modified cassava starches), Ncr and UC (modified corn starches). The hygroscopicity and the viscosity profile of these materials were evaluated. Soon after, the chocolate powder was formulated using 25% of one of these materials under study (starch, maltodextrin), 20% of extruded whole sorghum flour, 35% of sugar, 18.5% of cocoa powder and 1.5 % lecithin powder. All ingredients were mixed and passed through three 1190 sieves; 850 and 600  $\mu\text{m}$ , to reduce lumps formed during the mixing of these ingredients. Soon after, these samples passed through the steam jet agglomerator. Wettability time (MB), wettability by contact angle, dissolution time (TD), apparent density (DAP), absolute density (DA), pore volume (VP), scanning electron microscopy, image capture and centesimal composition of chocolate powders were measured and each sample received the respective name of the starch or maltodextrin used in its formulation. The modified starches showed highest moisture adsorption (at 25°C and 50 ° C) and viscosity; however the glass transition of the maltodextrins happened at lowest relative humidity. The dissolution time varied from 12.75 to 626 s (in water) and 27 to 692 s (in milk), the chocolate powder M05, M20 as well as NF, P87 and Pda presented a lowest dissolution time. The wettability time varied from 10.33 to 1256 s, being lower in samples M05 and M20 (10.33 and 29.66 s, respectively). The UC and Ncr chocolate powder had the highest wettability and dissolution times. Chocolate powders formulated with maltodextrin presented lower absolute density and higher amount of granules in the fraction F3 (between 500 and 850  $\mu\text{m}$ ) and F4 (> 850  $\mu\text{m}$ ), than those formulated with modified starches. The F3 fraction showed the lowest wettability time in most samples. Considering the results obtained, maltodextrin M05 (DE 5) and modified starch P87 were the best. Under the conditions of this study, the modified starches UC and Ncr are not suitable for use as ingredients for chocolate powder. In addition, this work proposes the study of wettability by the behavior of drop volume over time.

## 1 INTRODUÇÃO

Na produção de alimentos em pó podem ocorrer quatro principais tipos de aglomeração, por umedecimento, por secagem, a combinação de ambos os métodos e aglomeração por compressão (SCHUBERT, 1993). Nem todos esses processos são adequados para a obtenção de boas propriedades instantâneas. Dentre esses, a aglomeração por umedecimento é a mais eficiente e usada para esse fim. Os equipamentos mais utilizados na indústria para esse tipo de aglomeração são os leitos fluidizados e o jato de vapor (KYAW HLA ; HOGKAMP, 1999).

Na aglomeração úmida por jato de vapor (AVP), o agente ligante é o vapor saturado que ao entrar em contato com a superfície fria de ingredientes solúveis, se condensa. Isso causa um umedecimento na superfície das partículas desse ingrediente o que proporciona o desenvolvimento de camadas de líquido, viscosas e pegajosas, que dissipam a energia cinética durante a colisão das partículas e proporcionam a aglomeração (HOGKAMP et al., 1996).

Assim como os outros tipos de aglomeração de alimentos em pó, a AVP está relacionada à transição vítrea ( $T_g$ ) desse ingrediente solúvel, que geralmente são materiais vítreos amorfos. Isso porque em temperaturas de 20 °C acima da  $T_g$  do material ocorre a baixa viscosidade (abaixo de  $10^8$  Pa.s), necessária para tornar a superfície da partícula pegajosa (PALZER, 2005; FITZPATRICK et al., 2010).

Nessa zona de pegajosidade há formação de pontes entre as partículas. Para os materiais em pó amorfos e solúveis em água, o amolecimento do produto pode ser obtido tanto pelo aumento da temperatura quanto pelo aumento do conteúdo de umidade, que resultam na redução da  $T_g$ . A água atua como um plasticizante, aumentando a mobilidade molecular do material (FITZPATRICK et al., 2010). Por essa razão é importante conhecer as características de higroscopicidade do ingrediente solúvel.

Na formulação de achocolatados em pó, o ingrediente solúvel que mais contribui para formação de aglomerados é geralmente a sacarose. No entanto, carboidratos mais complexos como as maltodextrinas, que possuem digestão mais lenta, já têm sido utilizados, pois além dessa função conferem doçura e corpo ao produto (VISSOTTO et al., 2010; VISSOTTO et al., 2014).

As maltodextrinas são definidas como amido hidrolisado e compostas por unidades de  $\alpha$ -D-glicose ligadas por ligações glicosídicas (1  $\rightarrow$  4). Considerando que são produtos hidrolisados do amido, elas consistem em uma mistura de sacarídeos, principalmente D-glicose, maltose e uma série de oligossacarídeos, como maltotriose e misturas de maltotetraose e, por isso apresentam grande variedade de massa molecular. Elas são geralmente classificadas pelos seus valores de dextrose equivalente (DE). DE expressa o número de grupos aldeídos das extremidades reductoras em relação à glicose pura na mesma concentração, de modo que o DE alto indica alta conversão hidrolítica e menor massa molecular (DAMODARAN ; PARKIN, 2010; TAKEITI et al., 2010).

Assim como as maltodextrinas, os amidos modificados são materiais relativamente baratos (FERNANDES et al., 2014). Enquanto as maltodextrinas são obtidas por meio da hidrólise ácida ou enzimática de amidos. Os amidos modificados podem ser obtidos por diversas formas de modificações inclusive físicas ou químicas (ZIA UD et al., 2017). No estudo de JUAREZ-ENRIQUEZ et al. (2017), a maltodextrina em pó mostrou absorver mais água, se comparado ao amido modificado, porém o amido foi classificado como um pó moderadamente higroscópico, pois seu conteúdo de umidade aumentou 68% durante o teste de higroscopicidade.

KOWALSKA ; LENART (2005) avaliaram a influência do tipo e quantidade de ingredientes sobre um achocolatado feito por leite fluidizado. Eles observaram que

maltodextrina, assim como os outros ingredientes influenciaram nas características de instantaneidade do produto. Na área farmacêutica, a goma arábica foi testada em comparação com a maltodextrina como agente ligante na aglomeração por compactação de amido de milho e os autores observaram melhoras na característica de molhabilidade (GHOSAL et al., 2010). Já os amidos modificados têm sido estudados como agentes de parede para microencapsulação de extratos de frutas (SILVA et al., 2018).

Paralelo a isso existe uma demanda por produtos com sorgo no mercado brasileiro. No capítulo 1 dessa tese foi observado que os brasileiros não conhecem sorgo. Nesse mesmo capítulo seis genótipos de sorgo integral foram caracterizados e observou-se que a extrusão não seria um processamento suficiente para tornar instantânea a farinha de sorgo integral. No capítulo 2 foi escolhida uma formulação de achocolatado com sorgo (um novo produto com sorgo), a qual foi utilizada para avaliar e escolher uma condição de processamento por aglomeração, porém o tempo de molhabilidade dos aglomerados ainda não havia sido satisfatório. Por isso, o presente capítulo trata-se da avaliação de diversos ingredientes com potencial para contribuir na aglomeração das partículas.

Além disso, não foram encontrados na literatura estudos avaliando e comparando diferentes tipos de maltodextrinas e amidos modificados como ingredientes na fabricação de achocolatados com sorgo por AVP. Por essa razão, o objetivo desse estudo foi comparar diferentes amidos modificados e diferentes tipos de maltodextrinas, assim como avaliar o efeito desses ingredientes no produto final e comparar esses efeitos. Por fim, escolher um desses materiais para compor a formulação do achocolatado com sorgo.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Materiais

Dois genótipos de sorgo (*Sorghum bicolor L.*), BRS305 (pericarpo marrom), BRS373 (pericarpo vermelho) foram cultivados e recebidos da Embrapa Milho e Sorgo (Sete Lagoas, Brasil). Cacau em pó alcalino (pH 6,0-7,0) (Brasilcoa comércio e serviços Ltda, São Paulo, Brasil) e Açúcar (sacarose) (Boavista, São Paulo, Brasil) foram doados pelo ITAL (Instituto de Tecnologia de Alimentos, Campinas, Brasil). O aroma de chocolate (International flavors fragrances, Nova York, EUA) foi doado pela empresa Duas Rodas (Santa Catarina, Brasil). As maltodextrinas: GLOBE 1905® (M05), MOREX 1910® (M10), MOREX 1914® (M14), MOREX 1920® (M20) e os amidos modificados: Purity 87® (P87), Purity Da® (Pda), Ultra Crisp® (UC), National Frigex HV® (NF) e N-cream 46® (Ncr) foram doados pela Ingredion.

### 2.2 Análises Físicas dos Amidos Modificados e Maltodextrinas

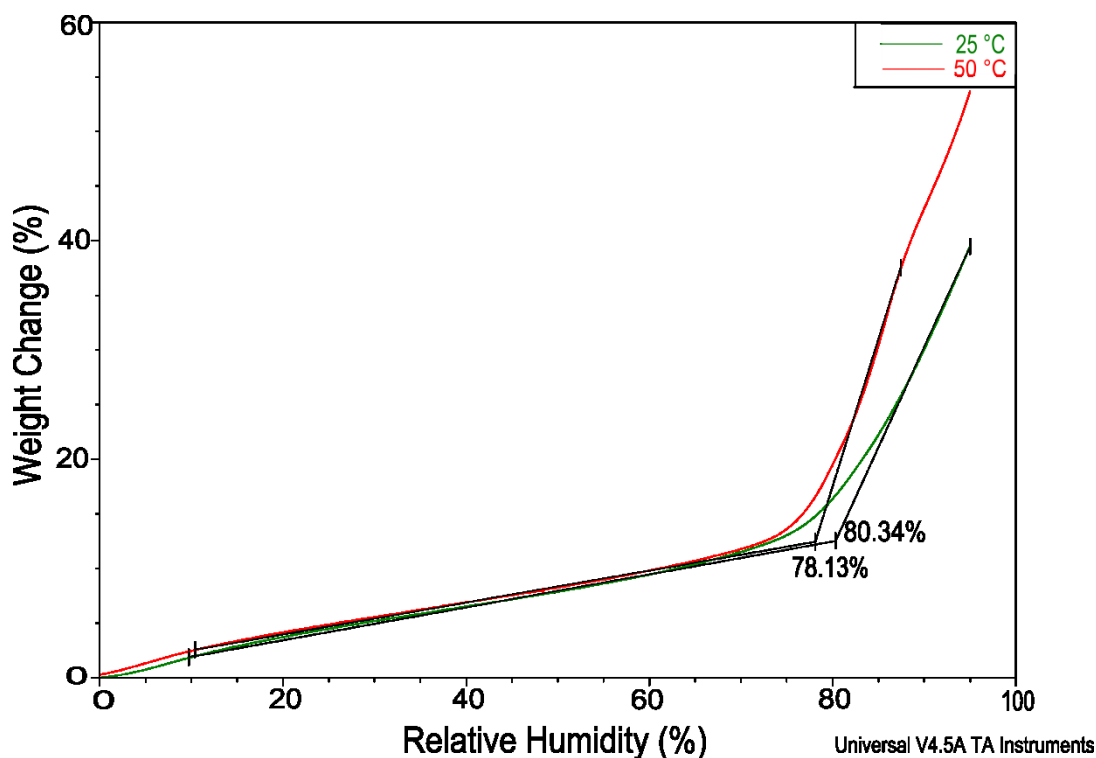
#### 2.2.1 Propriedades de pasta dos amidos e maltodextrinas

A viscosidade aparente dos amidos e maltodextrinas foram avaliados de acordo com os procedimentos descritos por Pinto et al. (2015), com modificações, utilizando um analisador rápido de viscosidade RVA 4 (Newport Scientific, Sidney, Austrália) e o software Thermocline for Windows. A análise foi realizada utilizando 3,0 g ( $\pm 0,1$ ) de amido e 25,0 g ( $\pm 0,1$ ) de água destilada, a fim de ajustar a umidade para 14% (base úmida). As amostras foram mantidas a 25°C (por 1,73 min), aquecidas até 95°C e mantidas a essa temperatura por 2,86 min e resfriadas a 25°C, novamente mantidas a 25°C (por 2 min), totalizando 20 min de análise. Sendo homogeneizadas a 960 rpm por 10s iniciais e até o final da análise a 160 rpm. A viscosidade foi expressa em cP (centipoise). Os parâmetros considerados foram:

- a) Viscosidade inicial: Viscosidade máxima antes do aquecimento
- b) Viscosidade máxima no aquecimento: é o valor máximo da viscosidade no aquecimento
- c) Viscosidade mínima, menor valor da viscosidade após ter atingido a temperatura constante 95 °C;
- d) Quebra da viscosidade "breakdown" é a diferença entre a viscosidade máxima e a viscosidade mínima a 95°C;
- e) Viscosidade final no ciclo de resfriamento: é o valor da viscosidade em cP, ao final da análise (a 25 °C);
- f) Tendência à retrogradação ou "Setback": é a diferença entre o menor valor de viscosidade mínima durante a manutenção à 95 °C e a viscosidade final.

### 2.2.2 Higroscopicidade dos amidos e maltodextrinas

A análise foi realizada seguindo os procedimentos de Burnett et al. (2004), com modificações, usando um Analisador de Sorção Q5000SA (TA Instruments, New Castle, EUA), equipado com uma microbalança de alta precisão ( $0,1 \text{ mg} \pm 1\%$ ). A precisão do sistema foi de  $\pm 1\%$  para a umidade relativa (UR) em uma faixa de 0 a 98% e  $\pm 0,1 \text{ }^\circ\text{C}$  para estabilidade de temperatura. As amostras (5 a 10 mg) foram secas no instrumento até 0% de umidade a 60 °C e estabilizadas por 60 min. Em seguida, foram expostas ao aumento gradativo de umidade relativa (UR) em uma taxa de 6% UR/hora até 90 % UR à temperatura constante (25 ou 50 °C). A umidade relativa no ponto de transição vítrea ( $UR_g$ ) foi encontrada utilizando o software Universal Analysis V. 4.5A (TA Instruments), traçando uma tangente em cada inclinação e encontrando o ponto de intercepção entre elas, como no exemplo da Figura 1.



**Figura 1** – Exemplo de cálculo da  $UR_g$  pelo software Universal analysis V4.5A da TA Instruments.



## **2.3 Obtenção da Farinha Extrudada de sorgo**

### **2.3.1 Acondicionamento da amostra**

Os grãos de ambos os genótipos foram moídos em moinho de martelo com capacidade de 500 kg/h (TREU, Rio de Janeiro, Brasil) com malha de abertura 1,25 mm, misturados manualmente em proporções iguais e acondicionados a 11% de umidade, um dia antes a extrusão.

### **2.3.2 Processamento**

A farinha da mistura dos genótipos (50% BRS305 e 50% BRS373) foi extrudada como descrito por Vargas-Solórzano et al.(2014) utilizando uma extrusora de parafuso duplo corotacional, modelo Evolum HT 25 (Clextral, Firminy, France), equipado com alimentador gravimétrico automático PWS1 (Shenck Process, Darmstadt, Germany), ajustado para 10 kg/h de vazão, parafuso com rotação de 500 rpm e matriz de 4 furos circular de 3.8 mm de diâmetro cada. Os extrudados foram cortados utilizando cortador de quatro facas (Clextral, Firminy, France) com rotação de 900 rpm. Logo depois, foram secos em estufa a 60 °C, moídos em moinho de martelo (TREU, Rio de Janeiro, Brasil) e com peneira de abertura 1,25 mm para obtenção de uma farinha fina.

## **2.4 Formulação dos Achocolatados e Aglomeração por Jato de Vapor**

Uma única formulação foi utilizada nesse estudo, na qual houve variação apenas do material em estudo (maltodextrinas ou amidos). A formulação foi: farinha extrudada de sorgo integral (20%), açúcar (35%), cacau em pó (18,5%) e lecitina em pó (1,5%) e 25% do material em estudo. Os materiais em estudo foram as maltodextrinas *M05* (DE 05); *M10* (DE 10); *M14* (DE 14); *M20* (DE 20) hidrolisadas de amido de milho; NF, P87, Pda (amidos modificados de mandioca), Ncr e UC (amidos modificados de milho).

Todos os ingredientes em pó foram misturados e passados por três peneiras com aberturas de 1,19; 0,85 e 0,60 mm, a fim de desfazer grumos e deixar a mistura homogênea. Logo depois, essas amostras passaram pelo aglomerador piloto por jato de vapor (ICF Industrie CIBEC s.p.a., Itália), em três repetições. O equipamento foi ajustado para 394g/min de vazão dos sólidos, 1,2 ( $\times 10^2$  kPa) de pressão do vapor, 74 °C de temperatura do secador e 12 rpm da velocidade de rotação do secador rotativo. Uma grelha com abertura de 1,41 mm foi acoplada abaixo da tremonha de alimentação do pó. Esses parâmetros foram escolhidos previamente no estudo do capítulo 3 (condição da amostra A5), no entanto a pressão de vapor foi ajustada para 1,2 ( $\times 10^2$  kPa), devido uma limitação do equipamento nessa nova data de processamento.

## **2.5 Avaliação dos Achocolatados**

### **2.5.1 Molhabilidade dos achocolatados**

A molhabilidade foi analisada utilizando dois métodos:

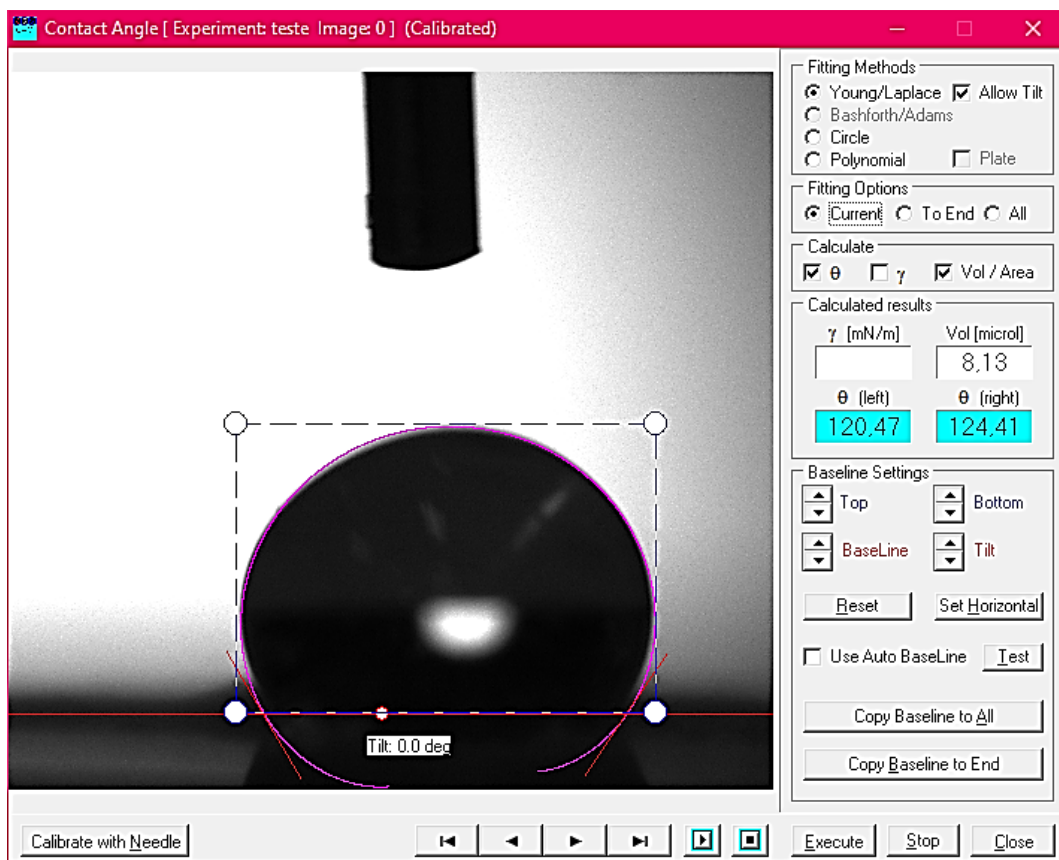
O primeiro método utilizado foi o tradicional tempo de molhabilidade (MB) foi determinado seguindo a metodologia descrita por Vissotto et al. (2010), considerando o tempo necessário molhar todas as partículas de 2g do achocolatado depositado e sem agitação sobre 400 mL de água deionizada (25 °C), com auxílio de um equipamento feito em acrílico (mostrado no capítulo 3), em 6 repetições.

No segundo método a molhabilidade foi avaliada usando um tensiômetro modelo CAM 101 (KSV instruments, Helsinki, Finlândia) de acordo com JI et al. (2016), com

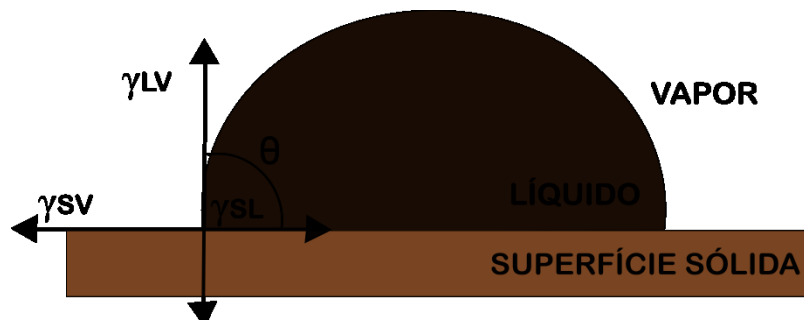
modificações. As amostras foram colocadas em porta amostra de acrílico e niveladas. Uma gota com aproximadamente 9  $\mu\text{L}$  de água deionizada foi depositada sobre a superfície por meio da seringa do tensiômetro, as imagens da gota caindo sobre a superfície do pó foram capturadas e o volume, ângulo de contato, altura e largura da gota foram medidos pelo software CAM2008 como pode ser observado na Figura 2. De acordo com a Equação de Young (1), o ângulo de contato é definido como o ângulo entre uma tangente traçada na interface líquido/ar e outra tangente na interface sólido/líquido (Figura 3).

$$\cos \theta = \frac{\gamma_{SV} - \gamma_{SL}}{\gamma_{LV}} \quad (1)$$

Onde,  $\gamma_{SV}$  é a tensão interfacial entre o sólido e o ar/vapor;  $\gamma_{SL}$  a tensão interfacial entre o líquido e a fase sólida;  $\gamma_{LV}$  é a tensão superficial do líquido e ar/vapor;  $\theta$  é o ângulo de contato (Figura 3).



**Figura 2** – Software CAM2008 calculando o ângulo de contato e volume de uma gota capturada por fotografia, ao cair no achocolatado em pó.



**Figura 3** – Esquema ângulo de contato.

### **2.5.2 Distribuição granulométrica de partículas**

A distribuição granulométrica dos achocolatados foi feita utilizando 100g da amostra que foi peneirada em peneirador Ro-Tap, modelo RX29-10 (W.S Tyler, Mentor, EUA), por 5 min cada amostra, em triplicata. As peneiras utilizadas foram o fundo (F1); 75µm (F2); 500 µm (F3) e 850 µm (F4).

### **2.5.3 Tempo de dissolução**

O tempo de dissolução foi determinado de acordo com a metodologia descrita por Omobuwajo et al. (2000), porém adaptada. A adaptação foi feita considerando a proporção utilizada na análise sensorial, ou seja, 1:10 (pó/líquido). Então, para a realização da análise, 1g de achocolatado foi dissolvido em 10 mL de água destilada (25 °C) presente em um béquer de 50 mL (3,5 mm de diâmetro) sobre um agitador magnético a 3 rpm. O tempo para total dissolução foi medido com um cronômetro digital, a partir do momento em que o pó caiu no líquido. O procedimento foi repetido a 8°C usando leite semidesnatado (1% de gordura) e usando como amostra as diferentes frações obtidas no item 2.3.2 (F1, F2, F3 e F4).

### **2.5.4 Densidade absoluta (DA), aparente (DAP) e volume de poros (VP)**

A densidade aparente foi determinada usando um picnômetro a gás hélio modelo AccuPyc II 1340 (Micromeritics, Norcross, USA) and Accupyc II 1340 for Windows (Micromeritics, Norcross, EUA). O volume de poros (VP) foi determinado usando a Equação 2.

$$VP = DAP - DA / DAP * DA \quad (2)$$

Onde DAP é a densidade aparente a DA é a densidade absoluta das amostras.

DAP foi mensurado usando uma proveta de vidro de 100 mL e uma balança analítica. A proveta foi pesada vazia e contendo a amostra, essa proveta contendo a amostra foi batida 15 vezes na bancada, para medir a densidade aparente após bater (TBD). A densidade aparente antes e após bater foi determinada usando a Equação 3.

$$DAP/TBD = m/v \quad (3)$$

Onde, DAP é a densidade aparente; m é a massa de amostra pesada e v é o volume ocupado na proveta.

### **2.5.5 Microscopia eletrônica de varredura**

A microestrutura dos achocolatados foram visualizadas usando um Microscópio eletrônico de varredura em baixo vácuo (MEV) TM 3000 (Hitachi, Tokyo, Japão), a uma aceleração de 15 kV and magnitude de 80x e 500x.

### **2.5.6 Composição centesimal**

A umidade e o teor de cinzas dos seis genótipos de sorgo foram medidos utilizando um analisador termogravimétrico TGA-2000 (Navas Instruments, Conway, EUA) a 105 e 550 °C, respectivamente, até peso constante. A quantificação lipídica foi realizada pelo método oficial Am 5-04 da American Oil Chemists Society (AOCS, 2005) a proteína foi medida pelo método de Kjeldahl 2001.11 e a fibra alimentar pelo método 985.29, ambos da AOAC (2005) Finalmente, a quantidade de carboidrato foi calculada por diferença.

### 2.5.7 Análise estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) para um desenho inteiramente casualizado (DIC) para determinar se houve diferenças significativas entre as médias dos tratamentos. A normalidade dos resíduos da ANOVA do DIC foi testada aplicando o teste de normalidade de Shapiro-Wilk, se os resíduos mostraram normalidade e se for detectado diferença estatística, logo foi aplicado o teste de comparação múltipla de médias de Tukey para avaliar quais tratamentos foram diferentes ( $p < 0,05$ ). Para as variáveis cujos resíduos da ANOVA no DIC não apresentaram normalidade, foi aplicada uma transformação de variável calculando o Logaritmo (Log) da variável, logo foi repetido a ANOVA e teste de Tukey onde foi preciso.

Os dados obtidos no tensiômetro foram plotados em gráficos usando um macro em Excel. Tendo em vista a similaridade entre algumas amostras em relação à absorção da gota de água ao longo do tempo, foi aplicada a metodologia de análise de componentes principais (ACP), a mesma que foi aplicada para agrupar as amostras (estatisticamente) de acordo com as outras variáveis respostas desse capítulo.

Para a ACP da molhabilidade por tensiômetro, foi utilizado o dado do volume da gota ao longo do tempo (em que o volume da gota de água em cada tempo foi considerado como uma variável resposta). Esse tipo de aplicação do ACP permite avaliar uma variável ao longo do tempo para determinar agrupamentos de amostras com comportamento similar dessa variável ao longo do tempo, e já tem sido utilizada por outros autores para esse fim (STEVENSON ; RAMIREZ-LOPEZ, 2014; HANSON, 2019). Neste caso, o ACP é calculado a partir da matriz de covariância já que todas as variáveis (volume ao longo do tempo) têm a mesma unidade de medida, assim não foi preciso trabalhar com matriz de correlação. Miller et al. (2007), se referiram ao ACP como um método poderoso para decompor dados variáveis ao longo do tempo. Esse estudo é da área de astronomia e os autores aplicaram ACP à amplitude de espectros observados ao longo do tempo, que segundo eles já é amplamente utilizado para esse fim.

A ACP também foi utilizada nas amostras em função das diferentes variáveis respostas. Desta forma foi possível estudar o experimento globalmente e explicar possíveis relações variável-variável e variável-amostra. Neste segundo caso, a ACP foi aplicada após padronização das variáveis, utilizando apenas as variáveis que apresentaram diferença estatística (tempo de dissolução, tempo de molhabilidade, densidade absoluta e aparente, volume de poros e granulometria). Logo, os componentes principais encontrados pela ACP foram utilizados para realizar a clusterização hierárquica a partir dos componentes principais (HCPC) para confirmar os grupos de amostras (FERREIRA et al., 2017). O algoritmo para HCPC foi o uso de distâncias euclidianas entre as amostras e o critério de Ward entre os grupos.

As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software Statistica 10 (StatSoft, Tulsa, EUA) e o software R para computação estatística, versão 3.2.4 (CORE\_TEAM, 2017). Todas as análises estatísticas foram realizadas com significância de 5% ( $\alpha = 0,05$ ).

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Higroscopicidade e Propriedades de pasta dos Amidos Modificados e Maltodextrinas

Na Figura 4 e Tabela 1 estão apresentados os resultados de análise de higroscopicidade e as propriedades de pasta, respectivamente, dos amidos e maltodextrinas utilizados neste estudo. Os gráficos apresentados na Figura 4 mostram uma mudança de peso em relação ao aumento da umidade relativa das amostras a 25°C (a) e 50°C (b). Todas as curvas apresentaram uma inclinação maior após uma determinada umidade relativa. Segundo

Burnett et al. (2004), essa mudança na inclinação da curva, ou seja o ponto de inflexão, refere-se ao ponto da transição vítrea ( $UR_g$ ), fenômeno que ocorre em materiais amorfos.

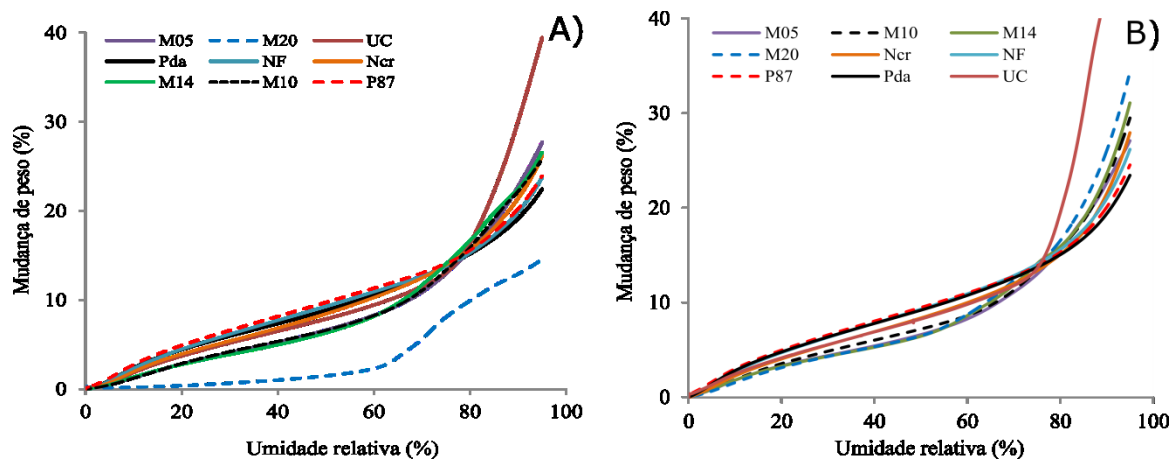
As maltodextrinas apresentam a mudança na inclinação em umidades relativas mais baixas que os amidos modificados (Tabela 1). Entre as maltodextrinas, M20 apresentou perfil diferente das demais, sobretudo a 25 °C e menor  $UR_g$  em ambas as temperaturas. A menor  $UR_g$  dessa amostra pode ser devido ao menor peso molecular, que influencia na temperatura ou umidade de transição vítrea segundo Bhandari; Howes (1999). Já a menor adsorção de água nessa amostra pode estar relacionado à menor quantidade de sítios com fácil acesso e alta polaridade, ou outros grupos ativos das moléculas (DAMODARAN ; PARKIN, 2010).

Os amidos NF, Pda e P87 apresentaram maior  $UR_g$  em ambas as temperaturas (Tabela 1). Dentre os amidos a amostra UC apresentou menor  $UR_g$  e após esse ponto, apresentou um alto pico de absorção de água acima da  $UR_g$ . Esse amido modificado pode conter maior concentração de sacarídeos de baixo peso molecular quando comparados às outras amostras. WANG ; WANG (2000), observaram que a maior concentração de sacarídeos de alto peso molecular em maltodextrinas contribuiu para menor absorção de água após a transição vítrea. Essa diferença entre os amidos pode estar relacionada não só com o tipo de modificação (não divulgado pela empresa), como também com sua origem (WANG ; WANG, 2000), uma vez que os amidos NF, Pda e P87 são modificados de amidos de mandioca, enquanto UC e Ncr de amido de milho.

Os valores de  $UR_g$  a 25 °C foram maiores que a 50 °C. Isso porque essa mobilidade molecular é dependente de umidade e temperatura (FITZPATRICK et al., 2010). Apesar disso, a maioria dos materiais apresentaram perfil ou curva semelhantes. HAIDER et al. (2018), ao analisarem a força para separar partículas ao longo do tempo aplicada a maltodextrina DE 21 em diferentes temperaturas T-Tg, a uma determinada umidade relativa, reportaram que o comportamento reológico de um material amorfo é semelhante em diferentes temperaturas.

Desde o início da rampa, o ganho de peso é maior nos amidos modificados, principalmente NF, Pda e P87. Abaixo da  $UR_g$ , a sorção normalmente é limitada à adsorção de água na superfície. Depois que o material passa pela transição vítrea, a estrutura molecular do material tem sua mobilidade aumentada, permitindo a absorção de água na estrutura (BURNETT et al., 2004). Segundo Damodaran; Parkin (2010), a adsorção de água acontece com a ligação da água a sítios de fácil acesso, ou seja grupos altamente polares do material seco e no caso de amidos trata-se de uma molécula de H<sub>2</sub>O por unidade de glicose anidra.

Os amidos e maltodextrinas analisados podem ser considerados pós moderadamente higroscópicos. De acordo com Murikipudi et al. (2013), pós moderadamente higroscópicos absorvem água somente quando expostos a condições acima de 60% e 80% de umidade relativa, aumentando seu conteúdo de umidade em menos de 60% e 40% quando expostos a condições de 90% de umidade relativa, respectivamente. Enquanto pós muito higroscópicos podem adsorver água quando expostos a atmosferas com 50% de umidade relativa ou menos, e aumentar seu conteúdo de umidade em mais de 60% quando expostos a condições de 90% de umidade relativa. Finalmente, pós não higroscópicos não aumentam seu teor de umidade em atmosferas abaixo de 90% de umidade relativa, mas pode consumir até 20% de água sob condições ambientais acima de 90% de umidade relativa.



**Figura 4** – Perfil higroscópico das maltodextrinas (M05, M10, M14, M20) e amidos modificados (Ncr, NF, Pda, P87 e UC) utilizados na formulação do achocolatado para aglomeração. A) 25°C e B) 50°C.

Os resultados de viscosidade aparente das maltodextrinas e amidos modificados são apresentados na Tabela 1. É importante conhecer a viscosidade do ingrediente, pois pode influenciar na viscosidade do produto final. As maltodextrinas apresentaram menor viscosidade inicial, máxima, mínima, *setback* e viscosidade final, se comparadas aos amidos modificados.

Entre as maltodextrinas não houve diferença significativa das características de viscosidade. Enquanto entre os amidos modificados NF, Pda e P87 apresentaram maior tendência a retrogradação, curiosamente foram os amidos que tiveram maior adsorção em baixas umidades, porém maior UR<sub>g</sub>. Wang; Wang (2000) concluíram em seu estudo com maltodextrinas, que a maior concentração de sacarídeos de alto peso molecular contribuiu para maior viscosidade e maior tendência de retrogradação.

NF apresentou maior viscosidade inicial, ou seja, a 25 °C. A viscosidade inicial pode indicar a intensidade da quebra/hidrólise do amido nativo, que em amidos modificados pode ser menor que em maltodextrinas, como foi no estudo de Lokuwan (2007), pois quanto maior a hidrólise do amido em cadeias menores, menor é sua viscosidade. Pode essa razão também verifica-se que a viscosidade inicial das maltodextrinas foi inversamente proporcional ao valor de DE, apesar de não significativo.

O amido NF também apresentou maior viscosidade máxima e breakdown. Breakdown pode estar relacionado com interações fracas entre cadeias lineares curtas que não são fortes o suficiente para manter a integridade dos grânulos inchados, geralmente cadeias de amilose (LI et al., 2020). No estudo de Lokuwan (2007), os autores observaram maior teor de moléculas de amilose com menor comprimento da cadeia nos amidos modificados do que na maltodextrina, como resultado de hidrólise ácida de amido de mandioca.

**Tabela 1** – Perfil de viscosidade e UR<sub>g</sub> das maltodextrinas e amidos modificados

	Visc. Inicial (cP)	Visc. Máx. (cP)	Visc. Mínima (cP)	Breakdown (cP)	Setback (cP)	Visc. Final (cP)	UR <sub>g</sub> (%) (25)	UR <sub>g</sub> (%) (50)
M05	50,5±10,6 e	34,0± 5,6ef	15,0±5,6c	19,0±0,0c	9,0±2,8c	24,0±8,4c	75,22	72,19
M10	59,5±3,5e	47,5±3,5 def	23,5±2,1c	24,0±1,4c	7,0±1,4c	30,5±0,7c	71,60	72,00
M14	42,0±2,8e	32,0± 9,8ef	17,5±7,7c	14,5±2,1c	8,5±0,7c	26,0±8,4c	66,18	60,24
M20	39,0±1,4e	22,5± 2,1ef	15,0±2,8c	6,5±4,9c	9,0±4,2c	25,0±7,0c	63,49	59,98
Ncr	64,0±15,5e	78,5±6,3de	44,0±8,4c	34,5±2,1c	31,0±11,3c	75,0±19,7c	81,89	79,97
NF	8045,5±7,7a	6698,0±32,5a	4667,5±77,0b	2030,5±109,6a	7350,5±682,3a	12018,0±759,4a	84,22	81,89
Pda	6264,5±3,5b	6263,5±4,9b	4877,0±82,0a	1386,5±86,9b	6126,0±1004,0a	11003,0± 922,0a	81,78	79,93
P87	167,0±2,8c	213,5±35,3c	161,0±1,4c	52,5±2,1c	1526,0±28,2b	1687,0±29,6b	83,59	81,76
UC	97,0±2,8d	81,5±0,7d	55,5±7,7c	26,0±8,4c	30,5±2,1c	86,0±9,8c	80,34	78,13

Os dados representam as médias ± desvio padrão (n=3). Diferentes letras minúsculas nas colunas indicam diferença estatística entre as amostras segundo teste de médias Tukey (p < 0,05).

### 3.2 Efeitos das Maltodextrinas e Amidos Modificados Sobre as Características dos Achocolatados com Sorgo

#### *Molhabilidade, tempo de dissolução e densidade dos achocolatados*

Os resultados de densidade dos achocolatados, mostrados na Tabela 2, apresentaram pouca variação. A densidade absoluta (AD) e volume de poros (VP) variaram de 1,412 (Ncr) a 1,510 g/cm<sup>3</sup> (Pda) e 0,292 (Ncr) a 0,338 cm<sup>3</sup> (Pda), respectivamente. Já a densidade aparente (DAP) variou de 0,306 (NF) a 0,387 g/cm<sup>3</sup> (Pda). Enquanto TBD variou de 0,339 (NF) a 0,431 g/cm<sup>3</sup> (Pda). De acordo com Dhanalakshmi et al. (2011) a maioria das partículas de alimentos possui densidades absolutas consideravelmente mais baixas, ~ 1–1,5g.cm<sup>-3</sup>.

Em geral, é possível observar que os achocolatados formulados com maltodextrina apresentaram menor densidade absoluta quando comparados aos formulados com os amidos modificados. A densidade absoluta é maior que a densidade aparente porque mede a verdadeira densidade, ou seja, considera o volume real da amostra e calcula a densidade considerando apenas o volume em que a massa ocupa (WEBB, 2001). Por essa razão o volume de poros é diretamente proporcional à densidade absoluta, pois ele não se refere ao volume em que a massa ocupa, mas sim o volume de espaços vazios. Considerando esse conceito, provavelmente a maior densidade absoluta observada em alguns achocolatados formulados com amido modificado, pode ser devido a aglomerados menores e mais porosos, cujo gás hélio conseguiu penetrar mais facilmente ao redor e em seu interior.

A densidade é importante, pois, pode influenciar na dispersibilidade e afundamento das partículas do pó durante a dissolução do alimento. Partículas com baixa densidade aparente e maior porosidade se dispersam mais facilmente (GOALARD et al., 2006). No entanto, partículas maiores e mais densas geralmente afundam mais rápido que as mais finas e mais leves (DHANALAKSHMI et al., 2011). Pode ser por isso que a relação entre a densidade e o tempo de dissolução e tempo de molhabilidade não está bem definida. Apesar disso, o conhecimento sobre a densidade é importante para a indústria ajustar as condições de armazenamento, processamento, embalagem e distribuição (DHANALAKSHMI et al., 2011).

**Tabela 2** – Resultados de densidade aparente e absoluta dos achocolatados com sorgo formulados com maltodextrina (M05, M10, M14 e M20) e amidos modificados (NF, P87, UC, Pda e Ncr).

	DA (g/cm <sup>3</sup> )	VP (cm <sup>3</sup> )	DAP (g/cm <sup>3</sup> )	TBD (g/cm <sup>3</sup> )
M05	1,466 ± 0,000 cd	0,315 ± 0,003 ab	0,358 ± 0,008 bc	0,398 ± 0,006 b
M10	1,456 ± 0,010 d	0,313 ± 0,007 ab	0,339 ± 0,004 cd	0,374 ± 0,004 c
M14	1,456 ± 0,009 d	0,313 ± 0,004 ab	0,353 ± 0,008 bc	0,400 ± 0,002 b
M20	1,459 ± 0,000 d	0,314 ± 0,000 ab	0,330 ± 0,005 de	0,374 ± 0,005 c
Ncr	1,412 ± 0,001 e	0,292 ± 0,001 b	0,360 ± 0,002 bc	0,409 ± 0,007 b
NF	1,500 ± 0,000 ab	0,333 ± 0,000 a	0,306 ± 0,008 f	0,339 ± 0,006 d
P87	1,493 ± 0,000 abc	0,315 ± 0,022 ab	0,367 ± 0,014 ab	0,411 ± 0,011 b
Pda	1,510 ± 0,017 a	0,338 ± 0,007 a	0,387 ± 0,005 a	0,431 ± 0,004 a
UC	1,474 ± 0,003 bcd	0,323 ± 0,000 ab	0,310 ± 0,007 ef	0,359 ± 0,007 c

Os dados representam as médias ± desvio padrão (n=3). Diferentes letras minúsculas nas colunas indicam diferença estatística entre as médias pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ). DA é densidade absoluta; VP é volume de poros; DAP é densidade aparente; TBD é densidade aparente após bater.

MB e TD são apresentados na Tabela 3, tanto em segundos como em Log. O logaritmo do tempo de molhabilidade e dissolução foram encontrados, pois não havia normalidade dos resíduos e por isso a diferença estatística não representava a diferença real do preparo, por exemplo, em segundos, devido à falta de normalidade, a análise não acusou diferença estatística entre 10 s e 188 s. Embora valores discrepantes possam resultar de um erro de medida, ele pode ser também um resultado genuíno, indicando um comportamento extremo da variável, como é no caso dessas variáveis respostas (BARTLETT ; KENDALL, 1946; PINO, 2014).

Dentre as amostras de achocolatado M05 e M20, (1,00 e 1,47, respectivamente) apresentaram os menores tempo de molhabilidade. Apesar disso, não foram estatisticamente diferentes das amostras NF, P87 e M10. O tempo de molhabilidade está relacionado principalmente com a composição do produto da superfície das partículas (FITZPATRICK et al., 2016), no entanto, as amostras com menor tempo de molhabilidade não apresentaram maior teor de lipídeo (Tabela 5), o que sugere que nesse estudo o teor de lipídeos não foi o que mais afetou a molhabilidade.

Em relação ao tempo de dissolução em água (Tabela 3), UC apresentou maior tempo (2,79), seguido de Ncr (2,74). Já as amostras NF (1,46), P87 (1,176) e Pda (1,105) apresentaram menor tempo de dissolução em água. No tempo de dissolução em leite (25°C), Ncr (2,89) seguido de UC (2,84) também apresentaram maiores tempos em relação aos demais. As amostras NF (1,52) e P87 (1,42) apresentaram menor tempo de dissolução em leite. É possível observar também que os valores de tempo de dissolução em leite foram maiores que em água ( $p < 0,05$ ).



**Tabela 3** – Resultados de tempo de molhabilidade e tempo de dissolução dos achocolatados com sorgo formulados com maltodextrina (M05, M10, M14 e M20) e amidos modificados (NF, P87, UC, Pda e Ncr).

	MB em água (s)	TD em água (s)	TD em leite (s)	Log MB (água)	Log TD (água)	Log TD (leite)
M05	10,33 ± 3,05	22,75 ± 2,98	45,50 ± 5,44	1,00 ± 0,13 f	1,35 ± 0,05 d, B	1,65 ± 0,05 c, A
M10	188,66 ± 23,86	31,50 ± 3,31	50,50 ± 6,85	2,27 ± 0,05 bcd	1,49 ± 0,04 c, B	1,70 ± 0,05 c, A
M14	351,33 ± 22,59	40,25 ± 2,21	65,00 ± 6,92	2,54 ± 0,02 abc	1,60 ± 0,02 b, B	1,81 ± 0,04 b, A
M20	29,66 ± 3,78	21,00 ± 1,41	51,00 ± 5,29	1,47 ± 0,05 ef	1,32 ± 0,02 d, B	1,70 ± 0,04 bc, A
Ncr	1044,67 ± 169,27	557,50 ± 41,32	779,75 ± 37,73	3,01 ± 0,06 a	2,74 ± 0,03 a, B	2,89 ± 0,02 a, A
NF	178,00 ± 23,47	14,00 ± 0,81	33,75 ± 4,11	2,00 ± 0,55 cde	1,14 ± 0,02 e, B	1,52 ± 0,05 d, A
P87	73,67 ± 41,35	15,00 ± 0,81	27,00 ± 3,55	1,79 ± 0,33 de	1,17 ± 0,02 e, B	1,42 ± 0,06 d, A
Pda	504,67 ± 19,42	12,75 ± 0,95	43,50 ± 4,12	2,70 ± 0,01 ab	1,10 ± 0,03 e, B	1,63 ± 0,04 c, A
UC	1256,67 ± 150,86	626,25 ± 39,48	692,50 ± 31,63	3,09 ± 0,05 a	2,79 ± 0,02 a, B	2,84 ± 0,02 a, A

Os dados representam as médias ± desvio padrão (n=6). Diferentes letras minúsculas nas colunas indicam diferença estatística entre as amostras segundo teste de médias Tukey ( $p < 0,05$ ) e diferentes letras maiúsculas nas linhas indicam diferença estatística entre o Log do tempo de dissolução para a água e o leite pelo teste t para amostras não pareadas ( $p < 0,05$ ). MB é tempo de molhabilidade; TD é tempo de dissolução.

Na tabela 4 estão apresentados os resultados das frações granulométricas e o tempo de dissolução das amostras em cada fração. Todas as amostras expressam maiores quantidades ( $p < 0,05$ ) de partículas na F2 (entre 75 e 500  $\mu\text{m}$ ). Os achocolatados formulados com amidos modificados apresentaram maior ( $p < 0,05$ ) quantidade de partículas finas quando comparados aos outros. Os achocolatados Pda, UC e P87 apresentaram maior quantidade de partículas no fundo (13,04%, 11,54%, 11,99%, respectivamente). Na fração F2, o amido NF apresentou maior quantidade com 68,10%. Os amidos modificados na formulação do achocolatados podem ter levado à obtenção de grânulos mais frágeis (menos firmes), que os obtidos pelas maltodextrinas, e com mais facilidade para se desfazerem. Segundo Kyaw Hla; Hoge Kamp (1999), um dos principais problemas após a aglomeração é a quantidade de finos e é o que gera a grande variabilidade no tempo de molhabilidade de achocolatados que são produzidos com ingredientes similares.

Os achocolatados formulados com maltodextrinas contêm maior quantidade de grânulos na fração F3 (entre 500 e 850  $\mu\text{m}$ ) e F4 (> 850  $\mu\text{m}$ ). Para a maioria das amostras, a F3 apresentou menor tempo de dissolução, quando comparada às outras. Ao contrário de F3, a fração F1 apresentou maior tempo de dissolução, comparada às outras, provavelmente devido à formação de grumos. Os autores Shittu; Lawal (2007), que analisaram diferentes amostras comerciais de achocolatados na Nigéria, concluíram que a solubilidade de partículas finas depende principalmente da composição do produto, como teor de açúcar ou lipídeo. No estudo de Kyaw Hla; Hoge Kamp (1999), os autores compararam a molhabilidade do material com a molhabilidade de algumas frações do mesmo material e observaram que para algumas amostras a fração entre 355 a 450  $\mu\text{m}$  apresentou tempo de molhabilidade até 15 vezes menor que todas as outras frações.

Ao contrário do esperado, aglomerados muito grandes, acima de 850  $\mu\text{m}$  (F4) também apresentaram tempo de dissolução maior que F3. No momento da análise foi observado que esses grânulos molhavam rapidamente, porém demoravam em se desintegrarem. Entretanto, no estudo de Kyaw Hla; Hoge Kamp (1999) partículas de achocolatado em pó entre 800 e 1000  $\mu\text{m}$  ainda apresentavam menor tempo de molhabilidade, porém os autores não utilizaram maltodextrinas e amidos na aglomeração. No presente estudo, a maltodextrina e amidos ou até mesmo a condição de processamento pode ter possibilitado a formação de pontes sólidas mais resistentes e mais difíceis de solubilizar nos grânulos maiores. Vissotto et al. (2010),

sugeriram a formação de pontes sólidas mais resistentes, ao observarem maior insolubilidade de achocolatado em temperaturas mais altas de secagem dos aglomerados.

Os achocolatados Ncr e UC apresentaram maior tempo de dissolução até na fração mais solúvel (F3), o que mostra que a granulometria não foi o único fator que influenciou na dissolução dessas amostras. Essas amostras formavam grumos de aspecto gomoso que molhavam, porém demoravam a se desintegrarem no líquido, o que pode ser alguma característica dos amidos modificados utilizados nessas formulações. O achocolatado Ncr, apesar de ter sido formulado com um amido modificado com propriedades emulsificantes não apresentou melhor molhabilidade, pois teve o segundo maior tempo de molhabilidade (1044s).

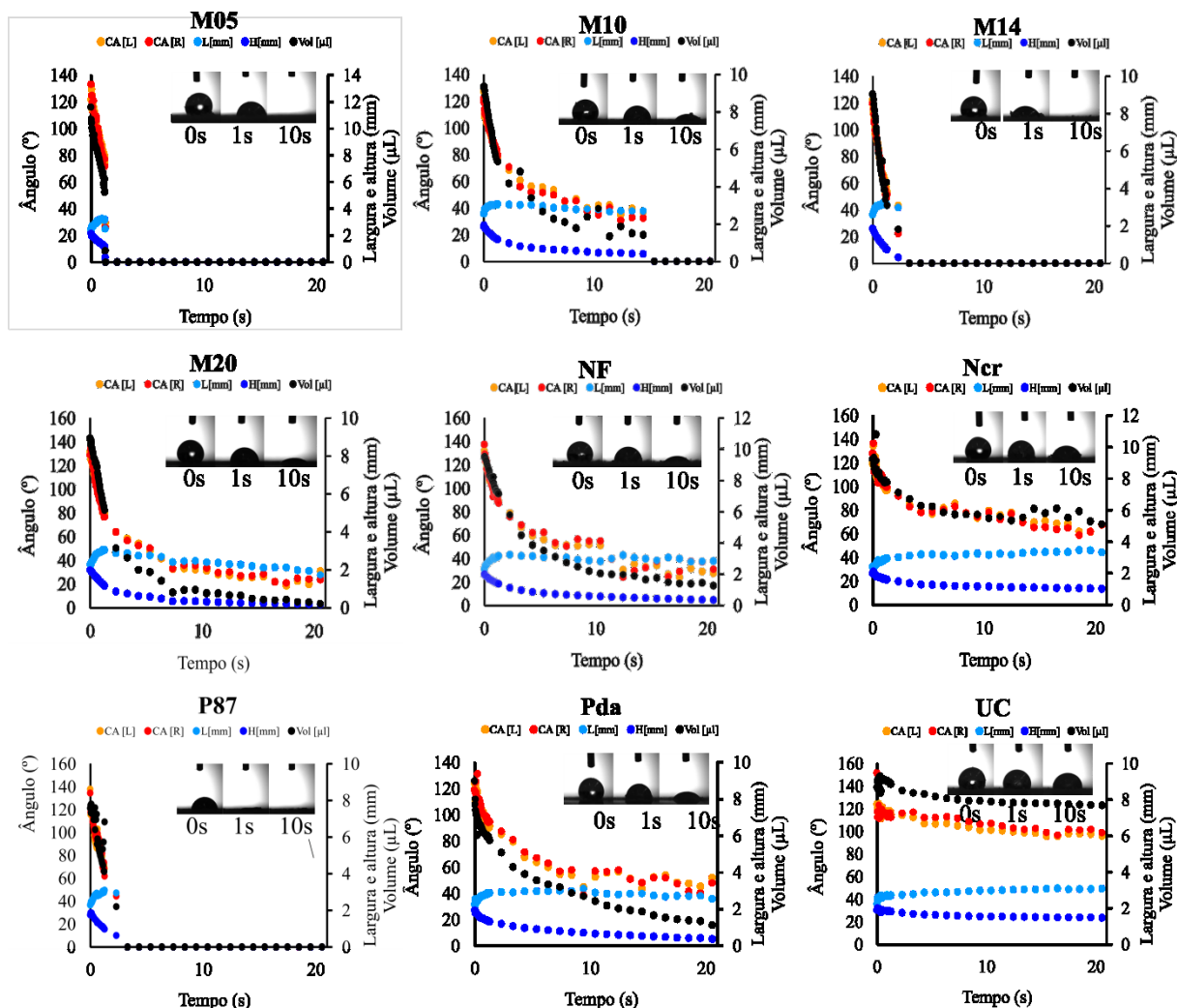
**Tabela 4** – Frações granulométricas e tempo de dissolução (em log) das respectivas frações obtidas dos achocolatados de sorgo formulados com maltodextrina (M05, M10, M14 e M20) e amidos modificados (NF, P87, UC, Pda e Ncr).

Amostra	F1 (%)	F2 (%)	F3 (%)	F4 (%)	TDF1 (log)	TDF2 (log)	TDF3 (log)	TDF4 (log)
M05	5,7 ± 1,4 d, D	40,1 ± 2,6 d, A	22,0 ± 1,5 a,C	32,7 ± 2,4 a, B	2,09 ± 0,19 bc, $\alpha$	1,14 ± 0,13 bc, $\beta\gamma$	0,83 ± 0,13 c, $\gamma$	1,48 ± 0,06 c, $\beta$
M10	7,5 ± 2,8 bcd, C	39,8 ± 5,6 d, A	19,9 ± 1,1 abc, B	34,4 ± 4,3 a, A	2,07 ± 0,20 bc, $\alpha$	1,18 ± 0,01 b, $\beta$	1,08 ± 0,03 b, $\beta$	1,14 ± 0,00 ef, $\beta$
M14	6,4 ± 0,9 cd, C	48,7 ± 2,3 bcd, A	21,2 ± 1,4 ab, B	24,1 ± 4,8 ab, B	2,03 ± 0,01 bc, $\alpha$	1,17 ± 0,00 bc, $\gamma$	1,03 ± 0,03 b, $\delta$	1,28 ± 0,02 de, $\beta$
M20	9,6 ± 0,4 abc, C	44,6 ± 2,4 bcd, A	19,8 ± 1,8 abc, B	26,1 ± 4,8 ab, B	2,27 ± 0,06 b, $\alpha$	1,13 ± 0,05 bc, $\gamma$	1,08 ± 0,02 b, $\gamma$	1,30 ± 0,05 d, $\beta$
Ncr	10,4 ± 0,3 ab, C	52,8 ± 2,6 bc, A	18,2 ± 1,6 bcd, B	18,7 ± 4,2 bc, B	2,79 ± 0,05 a, $\alpha$	2,66 ± 0,02 a, $\beta$	2,41 ± 0,01 a, $\beta\gamma$	2,24 ± 0,05 b, $\gamma$
NF	10,4 ± 0,3 ab, BC	68,1 ± 2,4 a, A	14,9 ± 0,2 d, B	6,6 ± 2,9 c, C	1,92 ± 0,08 bc, $\alpha$	1,02 ± 0,03 c, $\beta$	0,70 ± 0,01 c, $\gamma$	0,88 ± 0,04 gh, $\beta$
P87	11,9 ± 0,8 a, C	43,4 ± 6,2 cd, A	18,4 ± 1,3 bcd, BC	26,6 ± 7,3 ab, B	1,96 ± 0,18 bc, $\alpha$	1,07 ± 0,00 bc, $\beta$	0,82 ± 0,06 c, $\gamma$	0,78 ± 0,07 h, $\delta$
Pda	13,0 ± 1,7 a, B	54,3 ± 3,8 b, A	17,3 ± 0,5 cd, B	15,2 ± 4,8 bc, B	1,76 ± 0,06 c, $\alpha$	1,07 ± 0,07 bc, $\beta$	0,72 ± 0,04 c, $\delta$	1,02 ± 0,08 fg, $\gamma$
UC	11,5 ± 1,0 a, C	54,0 ± 1,4 b, A	16,4 ± 0,6 cd, B	18,0 ± 0,2 bc, B	2,72 ± 0,04 a, $\alpha$	2,52 ± 0,00 a, $\beta$	2,42 ± 0,09 a, $\beta$	2,67 ± 0,01 a, $\alpha$

Os dados representam as médias ± desvio padrão (n=3). Diferentes letras minúsculas nas colunas indicam diferença estatística entre as amostras; diferentes letras maiúsculas nas linhas indicam diferença estatística entre as frações e diferentes letras gregas nas linhas indicam diferença entre os tempos de dissolução das frações segundo teste Tukey ( $p < 0,05$ ). F1: fundo da peneira; F2: 75 $\mu$ m; F3: 500  $\mu$ m; F4: 850  $\mu$ m. TDF1: Tempo de dissolução de F1.

### Molhabilidade por gota sésstil

A redução do ângulo de contato, volume e altura da gota foi um comportamento comum em todas as amostras, assim como o aumento da largura da gota (Figura 5). Dentre essas variáveis plotadas, o volume da gota acompanha melhor o comportamento do ângulo de contato (CA[L], CA[R]) ao longo do tempo.



**Figura 5** – Ângulo de contato esquerdo (CA[L]) e direito (CA[R]); Longitude (L); Altura (H) e volume (Vol) ao longo do tempo (20 s) das amostras de achocolatado em pó formuladas com maltodextrina (M05, M10, M14 e M20) e amidos modificados (NF, P87, UC, Pda e Ncr).

Na Figura 5, os achocolatados M05, M14 e P87 apresentaram absorção súbita da gota após atingir os volumes 5,63; 3,38 e 4,12 µL, sendo totalmente absorvidas nos tempos 1,28; 3,31 e 3,32 s, respectivamente. A altura da gota (H) também reduz ao longo do tempo, porém a variável resposta que apresentou comportamento mais semelhante ao ângulo de contato foi o volume. Nessas amostras (M05, M14 e P87), a gota foi absorvida antes de 10 s. Enquanto as absorções mais demoradas foram observadas na amostra UC, seguida de Ncr, nas quais após 20 s havia sido absorvida menos a metade do volume da gota. Os achocolatados M10, M20, NF e Pda apesar de não terem rápida absorção da gota, após 20s absorveram mais da metade do volume inicial da gota, sendo seus volumes finais 0, 0,19 e 1,26 µL, respectivamente. Esses gráficos também descrevem a forma como a gota é absorvida, na maioria das amostras

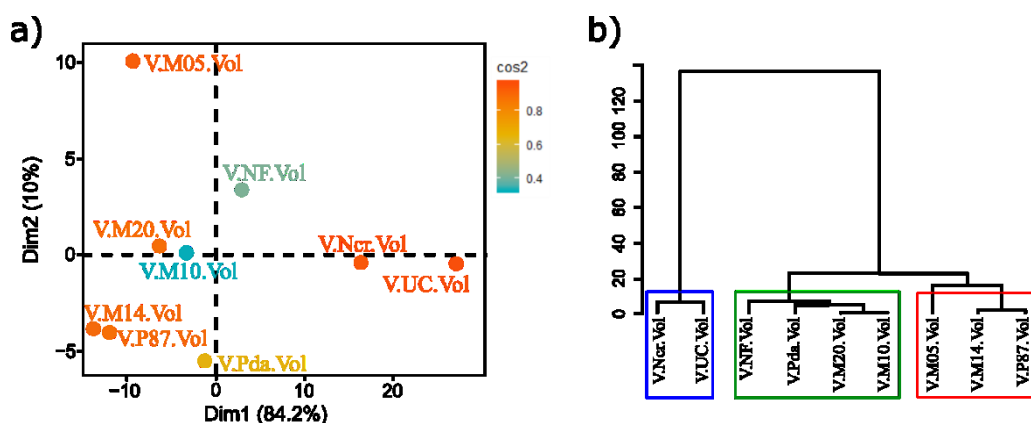
o volume decresce, porém há pouca variação na largura, mostrando que não houve espalhamento da gota na superfície do pó.

Quando apenas o ângulo de contato inicial do material foi observado no final da Tabela 5, esse ângulo variou de 123,96 (Ncr) a 137,35 (NF), porém não houve diferença estatística entre as amostras ( $p > 0,05$ ). De acordo com essa metodologia que observa o ângulo de contato, amostras com ângulos acima de  $90^\circ$  são classificadas como baixa molhabilidade, ou não molháveis (JI et al., 2017). No entanto, esse resultado não condiz com as outras variáveis respostas como tempo de molhabilidade e dissolução dos achocolatados discutidas anteriormente.

A molhabilidade pelo método gota sésil geralmente é reportada como a média do ângulo de contato entre o líquido e a superfície sólida. Esse método fundamenta-se na tensão superficial que acontece quando o líquido entra em contato com o sólido. No entanto, essa tensão geralmente é afetada pela composição do material e outras variáveis como a porosidade, o tamanho desses poros, tamanho da gota, rugosidade da superfície (MEIRON et al., 2004; CHOI ; LIANG, 2016). Em outras palavras, essa metodologia ainda não é bem estabelecida para materiais em pó granulados e sim para sólidos lisos.

Como pode ser observado na Figura 5, o volume da gota em relação ao tempo exibe um comportamento de molhabilidade, por isso seria possível utilizar os valores de volume da gota ao longo do tempo para todas as amostras. Nesse caso, a ACP tem sido um método de descrição de amostras muito utilizado para descrever dados de uma variável ao longo do tempo. Miller et al. (2007), por exemplo, se referiram ao ACP como um método poderoso para decompor dados variáveis ao longo do tempo. Esses autores aplicaram ACP à amplitude de espectros observados ao longo do tempo, que segundo eles já é amplamente utilizado para esse fim na área de astronomia. Outros autores também já utilizaram ACP como análise exploratória de dados espectrais como ressonância magnética nuclear, infravermelho (STEVENS ; RAMIREZ-LOPEZ, 2014; HANSONA, 2019).

Baseado nesses estudos é possível utilizar ACP e HCPC para descrever e agrupar amostras de acordo com suas similaridades em relação ao volume da gota ao longo do tempo. Os resultados dessa análise são apresentados na Figura 6. Esta proposta pode ser uma alternativa de avaliar a molhabilidade de forma mais explicativa, porém qualitativa de avaliar a redução de volume (absorção) ao longo do tempo e conseqüentemente a característica de molhabilidade.



**Figura 6** – a) ACP do volume da gota ao longo do tempo (molhabilidade) e b) HCPC do ACP (clusters) da amostras de achocolatados em pó formuladas com maltodextrina (M05, M10, M14 e M20) e amidos modificados (NF, P87, UC, Pda e Ncr).

A ACP consiste em encontrar uma rotação coordenada do espaço m-dimensional para que um eixo no sistema girado fique na direção para a qual a distribuição tem a maior

variação. Essa direção é conhecida como o primeiro componente principal. O segundo componente principal é ortogonal ao primeiro e é o eixo ao longo do qual a distribuição tem a próxima maior variação, e assim por diante (MILLER et al., 2007).

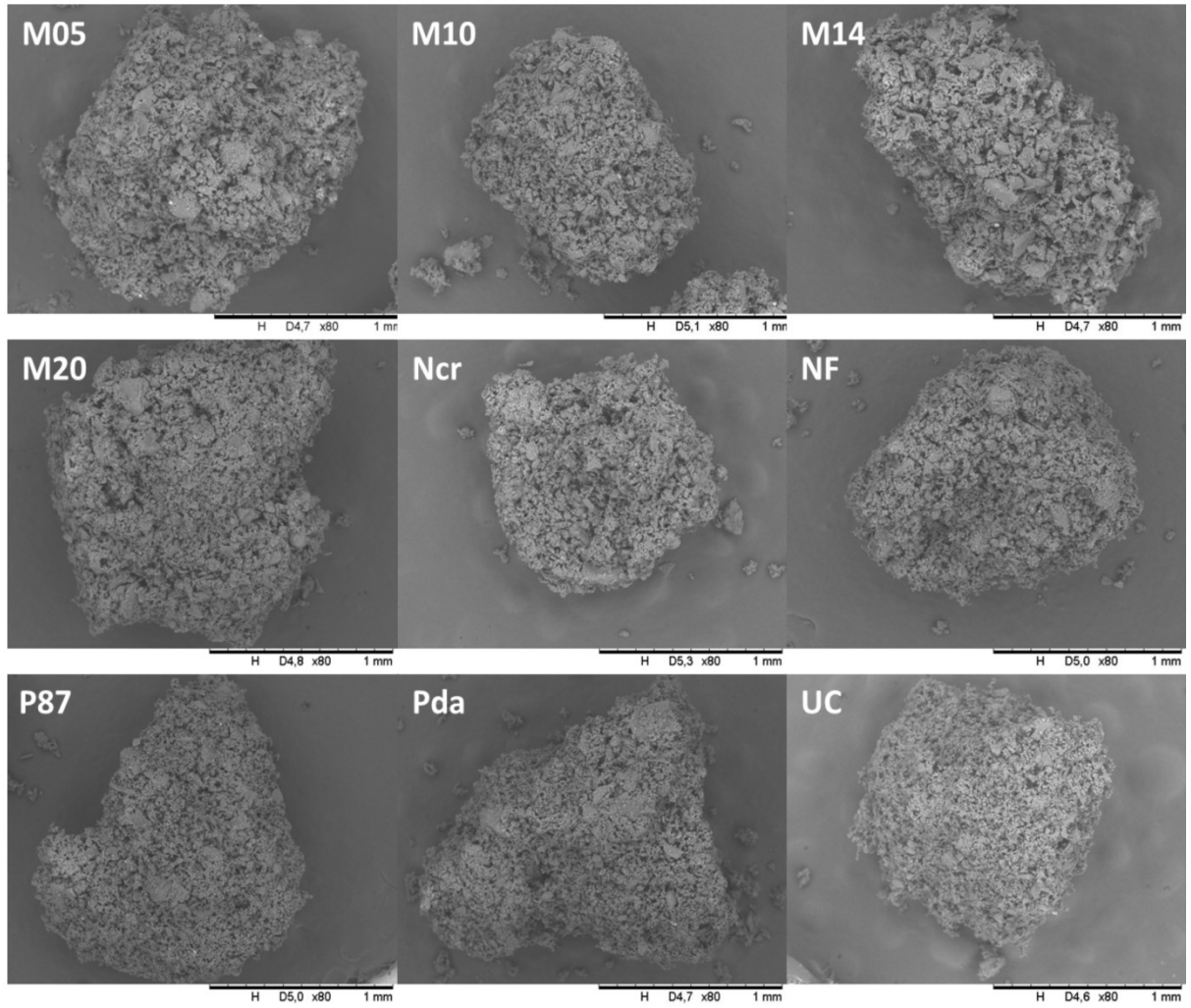
Na Figura 6 está o gráfico das dimensões obtidas pela análise de componentes principais. Nessa análise o volume em cada tempo foi considerado como uma variável. Na ACP, as dimensões 1 e 2 (primeira e segunda componentes) explicaram 94% da variabilidade do fenômeno. Esta explicação alta (próxima a 100% com apenas duas CP) respalda a possibilidade de utilização de ACP e HCPC na avaliação das amostras ao longo do tempo, como uma nova forma de analisar estes dados e detectar grupos de amostras com absorção (redução de volume) similares, uma vez que avalia o fenômeno completo de absorção da gota e não apenas um valor de ângulo de contato que no caso de pó pode não descrever bem as amostras. A HCPC agrupou amostras M05, M14 e P87 dentro de um mesmo grupo (Figura 6b), as amostras UC e Ncr formaram outro grupo, e um terceiro grupo foi formado pelas amostras NF, Pda, M20, M10.

As respostas de tempo de molhabilidade, tempo de dissolução, densidade e frações dos achocolatados também foram utilizadas para aplicação de estatística multivariada por ACP (Figura 7a e 7b) e HCPC (Figura 7c), assim como para compreender as possíveis correlações (Figura 7d) entre as variáveis respostas, pelo teste de correlação de Pearson. Na ACP as dimensões 1 e 2 explicaram 70,5% da variabilidade do experimento, logo pela aplicação da HCPC, as amostras foram divididas em 4 grupos: Grupo 1 (UC e Ncr), grupo 2 (M14, M05, M20, M10), Grupo 3 (NF) e grupo 4 (Pda e P87).

Ao comparar ambas as análises de ACP (Figuras 6 e 7), observou-se que os agrupamentos apresentaram semelhanças, o primeiro grupo (UC e Ncr) foi o mesmo em ambas as análises. Os achocolatados M10 e M20 também pertencem ao mesmo grupo em ambos os agrupamentos, ao contrário das demais amostras.

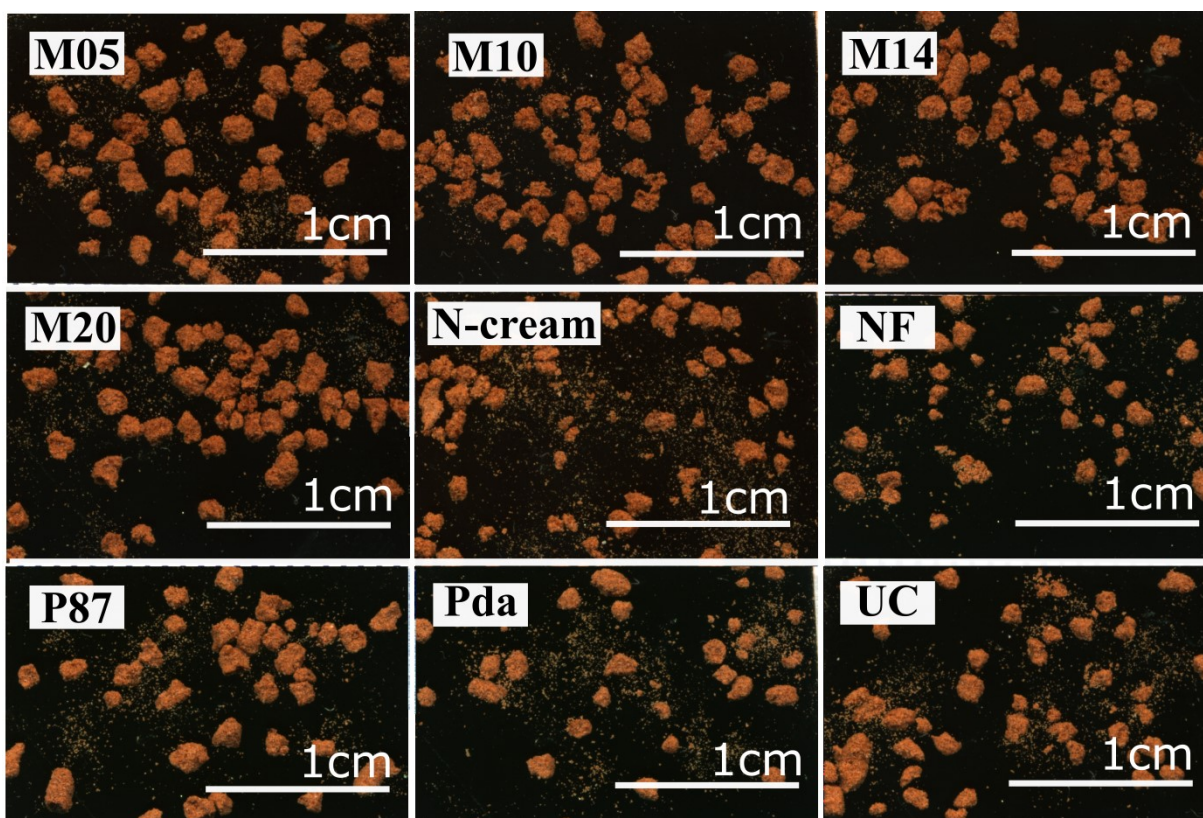
Outras observações sobre as amostras podem ser feitas na Figura 7. As amostras Ncr e UC foram as mais explicadas pelo tempo de molhabilidade e dissolução, por que apresentaram maiores valores de MB e TD, como observado na Tabela 3. Enquanto M05 foi mais bem explicada pelas frações F3 e F4 (Figura 7b), por apresentar maior quantidade de aglomerados nessas frações como já discutido anteriormente e observado na Tabela 4. Na Figura 7d, foram consideradas apenas correlações acima de 0,6 que são correlações fortes (0,7 a 0,9 ou -0,7 a -0,9) ou muito forte (0,9 a 1,0 ou -0,9 a -1,0) (TELES et al., 2019). A densidade absoluta apresentou correlação positiva com volume de poros (0,93) e ambos tiveram correlação negativa com tempo de molhabilidade e tempo de dissolução, apesar de não significativas (Figura 7d). Quanto maior o volume de poros, menor é o volume que a massa ocupa, por isso a densidade absoluta é proporcional ao volume de poros. Essa maior porosidade pode facilitar a penetração do líquido na partícula e conseqüentemente a dissolução mais rápida, por isso tem relação negativa com o tempo de molhabilidade e dissolução (FITZPATRICK et al., 2016).





**Figura 8** – Microestruturas de grânulos dos achocolatados em pó formulados com maltodextrina (M05, M10, M14 e M20) e amidos modificados (NF, P87, UC, Pda e Ncr).





**Figura 9** – Scanner dos grânulos de achocolatados em pó formulados com maltodextrina (M05, M10, M14 e M20) e amidos modificados (NF, P87, UC, Pda e Ncr).

#### *Composição centesimal*

A composição centesimal dos achocolatados apresentou pouca variação entre as amostras (Tabela 5). Os achocolatados formulados com amidos modificados apresentaram maior teor de umidade ( $p > 0,05$ ) que os formulados com maltodextrina, cuja variação foi de 4,02 (M14) a 5,31 g/100g (UC). Isso pode estar relacionado à maior adsorção de moléculas de água dos amidos modificados quando expostos a mesma umidade relativa que as maltodextrinas como foi reportado no item 3.1 (Figura 4). Já o teor de cinzas que provém basicamente do cacau em pó variou de 1,84 (UC) a 2,18 g/100g (M20).

O conteúdo de proteína e carboidratos não apresentou muita variação entre as amostras. O teor de proteína foi próximo a 6 g/100g em todas as amostras e o teor de carboidrato próximo a 70 g/100g. O teor de proteínas provavelmente é proveniente da farinha de sorgo pré-cozida e do cacau que possui em sua composição 51,1% de carboidratos, 22,8% de proteínas e entre 12 e 13,0% de lipídios (VISSOTTO, 2014). Em achocolatados comerciais, os autores Freitas; Da Silva Lannes (2004) encontraram valores menores (1,95 g/100g) e maiores (13,29 g/100g) de proteínas, dependendo da marca e do tipo. Nesses achocolatados comerciais a proteína é proveniente principalmente de leite ou aspartame usados em dietéticos.

O teor de lipídeo variou de 3,61(M14) a 4,18 g/100g (M10). Segundo os autores Shittu; Lawal (2007), o teor de lipídeos é um dos fatores que afetam as características reológicas e sensoriais de achocolatados solúveis reconstituídos. Nesse estudo os autores encontram teores entre 2 e 10,4% de lipídeos em amostras de achocolatado comercial na Nigéria. Já no Brasil, foi encontrado teor de lipídeos entre 0,88 e 5,93 (g/100g) em achocolatados comerciais (FREITAS EDUARDO ; DA SILVA LANNES, 2004). Isso mostra

que o achocolatado com farinha pré-cozida de sorgo apresenta conteúdo lipídico dentro do esperado.

O teor de fibras e carboidratos não variou estatisticamente entre as amostras. Todas essas pequenas variações, nos teores de cinzas, proteínas, fibras, lipídeos e carboidratos, podem estar relacionadas ao grau de pureza na extração desses amidos e maltodextrinas utilizados nessas formulações.

**Tabela 5** – Composição centesimal dos achocolatados com sorgo formulados com maltodextrina (M05, M10, M14 e M20) e amidos modificados (NF, P87, UC, Pda e Ncr).

	Umidade (g/100g)	Cinzas (g/100g)	Proteína (g/100g)	Extrato etéreo (g/100g)	Fibra alimentar (g/100g)	Carboidrato (g/100g)	AC (°)
M05	4,44±0,08b	1,99±0,00ab	6,81±0,04a	4,01±0,06ab	10,72±2,82a	72,03±2,71a	124,53±9,41a
M10	4,30±0,01bc	2,09±0,02ab	6,94±0,08a	4,18±0,02a	10,38±0,98a	72,11±1,13a	130,52±13,86a
M14	4,02±0,15c	2,11±0,04a	6,75±0,13ab	3,61±0,08d	10,66±1,82a	72,85±1,93a	135,25±15,77a
M20	4,42±0,02b	2,18±0,13a	6,94±0,04a	3,55±0,00d	11,78±2,51a	71,13±2,61a	128,07±7,57a
NF	4,98±0,04a	2,14±0,01a	6,88±0,04a	3,67±0,04cd	11,04±2,77a	71,3±2,80a	137,35±2,60a
Ncr	5,06±0,00a	2,16±0,02a	6,75±0,00ab	3,80±0,02bcd	9,94±2,03a	72,29±2,03a	123,96±0,77a
P87	5,11±0,16a	2,05±0,02ab	6,69±0,17ab	3,90±0,21bc	10,37±1,90a	71,88±2,24a	127,89±10,72a
UC	5,31±0,02a	1,84±0,21b	6,38±0,13b	3,68±0,02cd	9,19±1,13a	73,61±0,98a	125,01±12,02a
PDA	4,98±0,02a	2,08±0,14ab	6,88±0,08a	3,57±0,14d	10,56±1,89a	71,94±1,50a	124,86±4,89a

Os dados representam as médias ± desvio padrão (n=3). Diferentes minúsculas nas colunas indicam diferença estatística entre as amostras segundo teste de médias Tukey (p < 0,05). AC: ângulo de contato.

#### 4 CONCLUSÃO

Pelas diferenças existentes entre os biopolímeros, as maltodextrinas e amidos modificados apresentaram características diferentes entre eles. Em geral amidos modificados apresentaram maior adsorção de umidade a 25°C e 50°C e maior viscosidade, no entanto as maltodextrinas atingiam a transição vítrea em umidades relativas mais baixas.

Os granulados entre 500 e 850 µm apresentaram menores tempo de dissolução.

A aplicação da ACP para análises do volume de gota ao longo do tempo pode ser utilizada para avaliar a molhabilidade de achocolatado, este método como visto, já é muito utilizado em outros campos da ciência e permite diferenciar amostras pela decomposição de dados dependente do tempo.

Os amidos e maltodextrinas apresentaram efeitos diferentes nas características do achocolatado, relacionado aos seus perfis higroscópicos e de viscosidade. A maltodextrina com DE 5 conferiu ao achocolatado melhores características de instantaneidade, assim como o amido modificado P87. Enquanto os materiais não indicados para utilização em formulações de achocolatado foram os amidos modificados UC e Ncr, pois não conferiram boas características de instantaneidade das amostras.

Com base nos resultados, a maltodextrina Globe 1905 foi escolhida como material a ser utilizado para compor a formulação do achocolatado com sorgo em pó. Entretanto, há uma fragilidade desse capítulo devido à falta do uso da análise sensorial como ferramenta nessa escolha, tendo em vista sua importância em todas as etapas do desenvolvimento de novos produtos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AOAC. **Official methods of analysis of the Association Analytical Chemists**. Gaithersburg, Maryland: AOAC international, 2005.

AOCS. **AOCS Official Methods, rapid determination of oil/fat utilizing high temperature solvent extraction, method Am 5– 04**: AOCS Urbana, IL 2005.

BARTLETT, M. S.; KENDALL, D. G. The Statistical Analysis of Variance-Heterogeneity and the Logarithmic Transformation. **Supplement to the Journal of the Royal Statistical Society**, v. 8, n. 1, p. 128-138, 1946. Disponível em: [www.jstor.org/stable/2983618](http://www.jstor.org/stable/2983618). Acesso em: 2020/04/27/.

BHANDARI, B. R.; HOWES, T. Implication of glass transition for the drying and stability of dried foods. **Journal of Food Engineering**, v. 40, n. 1, p. 71-79, 1999. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877499000394>.

BURNETT, D. J.; THIELMANN, F.; BOOTH, J. Determining the critical relative humidity for moisture-induced phase transitions. **International Journal of Pharmaceutics**, v. 287, n. 1, p. 123-133, 2004. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378517304005435>.

CHOI, H.; LIANG, H. Wettability and spontaneous penetration of a water drop into hydrophobic pores. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 477, p. 176-180, 2016. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0021979716303149>.

CORE\_TEAM, R. **A language and environment for statistical computing, Austria: R Foundation for Statistical Computing** 2017.

DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L. **Química de alimentos de Fennema**. Artmed Editora, 2010.

DHANALAKSHMI, K.; GHOSAL, S.; BHATTACHARYA, S. Agglomeration of Food Powder and Applications. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 51, n. 5, p. 432-441, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/10408391003646270>.

FERNANDES, R. V. D. B.; BORGES, S. V.; BOTREL, D. A. Gum arabic/starch/maltodextrin/inulin as wall materials on the microencapsulation of rosemary essential oil. **Carbohydrate Polymers**, v. 101, p. 524-532, 2014. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144861713009752>.

FERREIRA, F. S. *et al.* Impact of Air Frying on Cholesterol and Fatty Acids Oxidation in Sardines: Protective Effects of Aromatic Herbs. **Journal of Food Science**, v. 82, n. 12, p. 2823-2831, 2017. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/1750-3841.13967>.

FITZPATRICK, J. J. *et al.* Comparing the caking behaviours of skim milk powder, amorphous maltodextrin and crystalline common salt. **Powder Technology**, v. 204, n. 1, p.

131-137, 2010. Disponível em:  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032591010003761>.

FITZPATRICK, J. J. *et al.* Investigation of the rehydration behaviour of food powders by comparing the behaviour of twelve powders with different properties. **Powder Technology**, v. 297, p. 340-348, 2016. Disponível em:  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032591016302042>.

FREITAS EDUARDO, M.; DA SILVA LANNES, S. C. Achocolatados: análise química. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, v. 40, n. 3, p. 405-412, 2004.

GHOSAL, S.; INDIRA, T. N.; BHATTACHARYA, S. Agglomeration of a model food powder: Effect of maltodextrin and gum Arabic dispersions on flow behavior and compacted mass. **Journal of Food Engineering**, v. 96, n. 2, p. 222-228, 2010. Disponível em:  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877409003677>.

GOALARD, C. *et al.* Characterization of the Dispersion Behavior of Powders in Liquids. **Particle & Particle Systems Characterization**, v. 23, n. 2, p. 154-158, 2006. Disponível em:  
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ppsc.200601024>.

HAIDER, C. I. *et al.* Unwanted agglomeration of industrial amorphous food powder from a particle perspective. **Chemical Engineering Research and Design**, v. 132, p. 1160-1169, 2018. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263876218300881>.

HANSONA, B. A. An Introduction to ChemoSpec. 2019.

HOGKAMP, S.; SCHUBERT, H.; WOLF, S. Steam jet agglomeration of water soluble material. **Powder Technology**, v. 86, n. 1, p. 49-57, 1996. Disponível em:  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0032591095030379>.

Jl, J. *et al.* The structural modification and rehydration behaviours of milk protein isolate powders: The effect of granule growth in the high shear granulation process. **Journal of Food Engineering**, v. 189, p. 1-8, 2016.

Jl, J. *et al.* Enhanced wetting behaviours of whey protein isolate powder: The different effects of lecithin addition by fluidised bed agglomeration and coating processes. **Food Hydrocolloids**, v. 71, n. Supplement C, p. 94-101, 2017. Disponível em:  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0268005X17301571>.

JUAREZ-ENRIQUEZ, E. *et al.* Effect of water content on the flowability of hygroscopic powders. **Journal of Food Engineering**, v. 205, p. 12-17, 2017. Disponível em:  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877417300699>.

KOWALSKA, J.; LENART, A. The influence of ingredients distribution on properties of agglomerated cocoa products. **Journal of Food Engineering**, v. 68, n. 2, p. 155-161, 2005. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877404002687>.

KYAW HLA, P.; HOGKAMP, S. Wetting behaviour of instantized cocoa beverage powders. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 34, n. 4, p. 335-342,

1999. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1046/j.1365-2621.1999.00275.x>.

LI, H.; LI, J.; GUO, L. Rheological and pasting characteristics of wheat starch modified with sequential triple enzymes. **Carbohydrate Polymers**, v. 230, p. 115667, 2020. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144861719313359>.

LOKSUWAN, J. Characteristics of microencapsulated  $\beta$ -carotene formed by spray drying with modified tapioca starch, native tapioca starch and maltodextrin. **Food Hydrocolloids**, v. 21, n. 5, p. 928-935, 2007. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0268005X06002475>.

MEIRON, T. S.; MARMUR, A.; SAGUY, I. S. Contact angle measurement on rough surfaces. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 274, n. 2, p. 637-644, 2004. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0021979704001973>.

MILLER, L. *et al.* The variable X-ray spectrum of Markarian 766. **A&A**, v. 463, n. 1, p. 131-143, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1051/0004-6361:20066548>.

MURIKIPUDI, V.; GUPTA, P.; SIHORKAR, V. Efficient throughput method for hygroscopicity classification of active and inactive pharmaceutical ingredients by water vapor sorption analysis. **Pharmaceutical development and technology**, v. 18, n. 2, p. 348-358, 2013.

OMOBUWAJO, T. O.; BUSARI, O. T.; OSEMWEGIE, A. A. Thermal agglomeration of chocolate drink powder. **Journal of Food Engineering**, v. 46, n. 2, p. 73-81, 2000. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877400000674>.

PALZER, S. The effect of glass transition on the desired and undesired agglomeration of amorphous food powders. **Chemical Engineering Science**, v. 60, n. 14, p. 3959-3968, 2005. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0009250905001296>.

PINO, F. A. A questão da não normalidade: Uma revisão. **Revista de economia agrícola**, v. 61, n. 2, p. 17-33, 2014. Disponível em: <http://www.iea.sp.gov.br/ftp/iea/publicar/rea2014-2/rea2-22014.pdf>.

PINTO, V. Z. *et al.* Effects of single and dual physical modifications on pinhão starch. **Food Chemistry**, v. 187, p. 98-105, 2015. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030881461500583X>.

SCHUBERT, H. Instantization of powdered food products. **International Chemical Engineering**, v. 33, p. 28-45, 1993.

SHITTU, T. A.; LAWAL, M. O. Factors affecting instant properties of powdered cocoa beverages. **Food Chemistry**, v. 100, n. 1, p. 91-98, 2007. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814605007855>.

SILVA, R. S. *et al.* Physicochemical properties of tucumã (*Astrocaryum aculeatum*) powders with different carbohydrate biopolymers. **LWT**, v. 94, p. 79-86, 2018. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643818303530>.

STEVENS, A.; RAMIREZ-LOPEZ, L. An introduction to the prospectr package. **R Package Vignette, Report No.: R Package Version 0.1**, v. 3, 2014.

TAKEITI, C. Y.; KIECKBUSCH, T. G.; COLLARES-QUEIROZ, F. P. Morphological and Physicochemical Characterization of Commercial Maltodextrins with Different Degrees of Dextrose-Equivalent. **International Journal of Food Properties**, v. 13, n. 2, p. 411-425, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10942910802181024>.

TELES, A. S. C. *et al.* Use of grape pomace for the production of hydrolytic enzymes by solid-state fermentation and recovery of its bioactive compounds. **Food Research International**, v. 120, p. 441-448, 2019. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0963996918308755>.

VARGAS-SOLÓRZANO, J. W. *et al.* Physicochemical properties of expanded extrudates from colored sorghum genotypes. **Food Research International**, v. 55, n. Supplement C, p. 37-44, 2014. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0963996913005711>.

VISSOTTO, F. Z. **Estudo do processo de aglomeração com vapor e perda de qualidade por caking de achocolatados em pó**. 2014. 234 (Doutorado). Faculdade de Engenharia de Alimentos, UNICAMP, Campinas, São Paulo.

VISSOTTO, F. Z. *et al.* Morphological characterization with image analysis of cocoa beverage powder agglomerated with steam. **Food Science and Technology**, v. 34, p. 649-656, 2014. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0101-20612014000400001&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-20612014000400001&nrm=iso).

VISSOTTO, F. Z. *et al.* Influence of the process parameters and sugar granulometry on cocoa beverage powder steam agglomeration. **Journal of Food Engineering**, v. 97, n. 3, p. 283-291, 2010. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877409005111>.

WANG, Y.-J.; WANG, L. Structures and Properties of Commercial Maltodextrins from Corn, Potato, and Rice Starches. **Starch - Stärke**, v. 52, n. 8-9, p. 296-304, 2000. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/1521-379X%2820009%2952%3A8%2F9%3C296%3A%3AAID-STAR296%3E3.0.CO%3B2-A>.

WEBB, P. A. Volume and density determinations for particle technologists. **Micromeritics Instrument Corp**, v. 2, n. 16, p. 01, 2001.

ZIA UD, D.; XIONG, H.; FEI, P. Physical and chemical modification of starches: A review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 57, n. 12, p. 2691-2705, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1087379>.

## **CAPÍTULO IV**

---

Efeito da farinha integral pré-cozida de sorgo, açúcar e maltodextrina nas características físicas, químicas e sensoriais de achocolatados em pó

---

## RESUMO

O objetivo deste capítulo foi avaliar a influência da farinha extrudada/pré-cozida de sorgo integral, açúcar e maltodextrina sobre as características físicas e sensoriais de achocolatado em pó. Dois genótipos de sorgo (BRS305 e BRS373) foram moídos, misturados (em proporções iguais), extrudados e novamente moídos para obtenção de uma farinha integral pré-cozida. Um planejamento de misturas simplex com restrições foi utilizado combinando diferentes teores de farinha extrudada de sorgo (FES) (0 a 35%), de açúcar (35 a 80%) e de maltodextrina (0 a 25%). Além desses ingredientes foram também adicionados cacau em pó (17,5%), lecitina de soja em pó (1,5%) e aroma em pó (1%). Esses ingredientes foram misturados manualmente, passados em peneiras para retirar os grumos formados e então a mistura foi processada em aglomerador piloto por jato de vapor. As diferentes formulações de achocolatado e três amostras comerciais foram comparadas segundo seu tempo de molhabilidade, tempo de dissolução (em água ou leite) e em diferentes frações, densidade absoluta, densidade aparente, microscopia eletrônica de varredura dos grânulos, fotografia das amostras, análise sensorial, composição centesimal, índice glicêmico estimado e carga glicêmica. O tempo de molhabilidade variou de 2 (comercial 2) a 678 s (A3). Já o tempo de dissolução variou de 4 (comercial 2) a 64 s (A3), em água, e de 3 (comercial 2) a 21 s (A2, A3, A6 e A8) em leite, ambos a 25 °C. O tempo de dissolução em leite foi maior que em água e a menor temperatura do leite (8 °C) também contribuiu para maior tempo de dissolução em todas as amostras. A fração entre 500 e 850 µm apresentou menor tempo de dissolução na maioria das amostras. O aumento da quantidade de açúcar aumentou a quantidade de grânulos acima de 850 µm e com formato cilíndrico, aumentando também a aceitação sensorial. O aumento da FES também contribuiu para formação de grânulos maiores e conseqüentemente maiores tempos de molhabilidade e dissolução, porém afetou negativamente a aceitação sensorial. A maltodextrina exerceu menor efeito sobre as características físicas e aceitação sensorial, se comparada ao açúcar e à FES. O índice glicêmico de uma das formulações (A2) foi menor do que da amostra comercial 3. A formulação ótima encontrada pela análise de desejabilidade, foi 20% de FES, 60% de açúcar e 0% de maltodextrina, considerando maior aceitação sensorial e menor densidade. A farinha extrudada de sorgo integral apresentou potencial para ser inserida em formulações de achocolatados ou outras bebidas. Além disso, a proporção dos ingredientes afetou as características físicas, químicas e sensoriais de achocolatados. A adição de farinha integral extrudada de sorgo em achocolatados tem potencial para reduzir o índice glicêmico e a carga glicêmica.



## ABSTRACT

The aim of this chapter was to evaluate the influence of extruded/ pre-cooked whole sorghum flour, sugar and maltodextrin on the physical and sensory characteristics of chocolate powder. Two sorghum genotypes (BRS305 and BRS373) were ground, mixed, extruded and ground again to obtain a pre-cooked whole flour. A mixture constrained design was used to evaluate different levels of extruded sorghum flour (FES) (0 to 35%), sugar (35 to 80%) and maltodextrin (0 to 25%). In addition to these ingredients, cocoa powder (17.5%), soy lecithin powder (1.5%) and aroma powder (1%) were also added. These ingredients were mixed manually, passed through sieves to remove the formed lumps and then this mixture was processed in a steam jet agglomerator. Chocolate powder formulated and three commercial samples were compared according to their wettability time, dissolution time (in water, milk and different fractions), absolute density, apparent density, scanning electron microscopy of the granules, image, sensory analysis, proximate composition, estimated glycemic index and glycemic load. The wettability time ranged from 2 (commercial 2) to 678 s (A3). Dissolution time varied from 4 (commercial 2) to 64 s (A3), in water, and from 3 (commercial 2) to 21 s (A2, A3, A6, and A8) in milk, both at 25 °C. Dissolution time in milk was longer than in water and the lowest temperature of milk (8 °C) also contributed to the highest values dissolution time in all samples. Fraction between 500 and 850  $\mu\text{m}$  showed a shorter dissolution time in most samples. The highest amount of sugar contributed to an increase of the number of granules above 850  $\mu\text{m}$  and cylindrical in shape, as well as in the sensory acceptance. The increase in FES also contributed to the formation of large granules and consequently to the longest wettability and dissolution times, which negatively affected the sensory acceptance. Maltodextrin had less effect on physical characteristics and sensory acceptance, compared to sugar and FES. Glycemic index of one of the formulations (A2) was lower than commercial sample 3. The optimal formulation found by the desirability analysis, considering highest sensory acceptance score and shortest density was the one that presented 20% FES, 60% sugar and 0% maltodextrin. Extruded whole sorghum flour presented the potential to be inserted in formulations of chocolate or other beverages powder. In addition, the proportion of ingredients affected the physical, chemical and sensory characteristics of chocolate. The addition of extruded whole sorghum flour to chocolate products has the potential to reduce estimated glycemic index and glycemic load.

## 1 INTRODUÇÃO

A aglomeração por jato de vapor tem sido usada na indústria de alimentos há muitos anos para produzir alimentos instantâneos como achocolatados em pó. Esses produtos possuem ótimas propriedades instantâneas devido à alta porosidade dos grânulos formados no processo, os quais se tornam suficientemente resistentes aos atritos durante o transporte (HOGKAMP et al., 1996; CUQ et al., 2013).

Na aglomeração ocorre a transformação de pequenas partículas nativas em aglomerados de tamanho maior. No entanto, ao contrário de alguns modelos de pós, que são feitos de partículas homogêneas, esféricas e inertes (por exemplo, gotas de vidro), os alimentos em pó exibem uma enorme heterogeneidade de tamanho, forma e estrutura (CUQ et al., 2013). Por esse fato, assim como devido aos múltiplos mecanismos e interações, a aglomeração de alimentos é um processo difícil de controlar e por isso pode haver variação na qualidade e característica dos aglomerados. Isso torna necessária uma compreensão mais clara a respeito da influência da matéria prima sobre algumas características e qualidade do produto. Essa necessidade é ainda maior para as indústrias de alimentos, que em alguns casos carecem dos pré-requisitos teóricos para melhorar o controle e a eficiência dos processos industriais, assim como a qualidade do produto final (PALZER, 2007).

Além das condições do equipamento, as propriedades de cada ingrediente em pó, como a capacidade de absorver água e a transição vítrea podem afetar diretamente na força de adesão entre as partículas primárias, influenciando diretamente na qualidade do produto final (PALZER, 2009). Os ingredientes básicos geralmente usados nas formulações de achocolatados são o cacau em pó e o açúcar (sacarose). Em algumas formulações há também adição de maltodextrina, lecitina, leite em pó, glicose, aromas, extrato de malte, vitaminas e/ou outros (EDUARDO ; LANNES, 2004).

Recentemente a indústria vem tentando agregar valor a esses produtos com a adição de cereais ou extrato de cereais. A Quaker Oats Company lançou no mercado brasileiro em 2018 um achocolatado com aveia. Em 2019 a Nestlé lançou o Nescau Max Cereal, o qual não é adicionado de açúcar, porém é feito com “extrato” de cereais (malte e cevada) e não por cereais integrais.

A adição de cereal integral pode agregar valor nutricional ao produto, por conter maior teor de fibra alimentar e compostos bioativos. O grão de sorgo integral, por exemplo, é um cereal que pode conter altas quantidades de compostos bioativos e fibra alimentar, se comparado a outros cereais, como o arroz integral (MORAES et al., 2015; ANUNCIÇÃO et al., 2017). Além disso, sua adição em formulações pode reduzir o índice glicêmico (IGE) dos achocolatados. No estudo de Moraes et al. (2015), o índice glicêmico de diferentes farinhas cruas de sorgo integral não apresentou correlação com o teor de amido resistente, mas apresentou correlação negativa com o conteúdo de fibras. Os valores de IGE observados por esses autores podem mudar no produto final em que foi utilizada a farinha como ingrediente, devido ao processamento e a adição de outros ingredientes.

Além de agregar valor nutricional ao produto, a adição de farinha de sorgo em achocolatados seria uma estratégia de inserção deste cereal na alimentação, pois o achocolatado é um produto bastante consumido no Brasil. No entanto, não foi encontrado nenhum estudo que aborda os efeitos da adição de farinha integral de sorgo em achocolatados sobre as características de instantaneidade e sensoriais deste produto. Assim como também não foram encontrados estudos que avaliaram a interação da farinha pré-cozida de sorgo com outros ingredientes, bem como a sua influência sobre o produto final. Portanto, o objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos da adição e das quantidades dos ingredientes na formulação

(farinha integral extrudada de sorgo, açúcar e maltodextrina) sobre as características físico-químicas e sensoriais do produto final.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Materiais

Dois genótipos de sorgo (*Sorghum bicolor* L.), BRS305 (pericarpo marrom, com tanino) e BRS373 (pericarpo vermelho, sem tanino) foram cultivados na Embrapa Milho e Sorgo (Sete Lagoas, Brasil). O cacau em pó alcalino (Brasilcoa comércio e serviços Ltda, São Paulo, Brasil) e Açúcar (sacarose) (Boavista, São Paulo, Brasil) foram doados pelo ITAL (Instituto de Tecnologia de Alimentos (Campinas, Brasil). O aroma de chocolate foi doado pela empresa IFF (São Paulo, Brasil). A maltodextrina foi doada pela *Ingredion* (Mogi das Cruzes, Brasil). As amostras comerciais de achocolatado foram adquiridas no mercado do Rio de Janeiro (Brasil).

### 2.2 Obtenção da Farinha Extrudada de Sorgo

#### 2.2.1 Moagem e acondicionamento da amostra

Os grãos inteiros de ambos os genótipos foram moídos em moinho martelo com capacidade de 500 kg/h (TREU, Rio de Janeiro, Brasil) com malha de abertura 1,25 mm acoplada ao moinho, obtendo-se uma farinha de cada genótipo que posteriormente foram misturadas manualmente em proporções iguais e acondicionados a 11% de umidade, um dia antes da extrusão.

#### 2.2.2 Processamento por extrusão

A farinha da mistura dos genótipos (50% BRS305 e 50% BRS373) foi extrudada como descrito por Vargas-Solórzano et al. (2014) utilizando uma extrusora de parafuso duplo co-rotacional, modelo Evolum HT 25 (Clextral, Firminy, France), sendo a rotação do parafuso ajustada a 500 rpm. A extrusora foi equipada com alimentador gravimétrico automático PWSD1 (Shenck Process, Darmstadt, Germany), com vazão ajustada para 10 kg/h e matriz de saída de quatro furos circular de 3,8 mm de diâmetro cada. Os extrudados foram cortados utilizando cortador (Clextral, Firminy, France) com rotação de 900 rpm e quatro facas. Logo depois, foram secos em estufa a 60 °C, moídos em moinho de martelo com abertura de 1,25 mm, para obtenção de uma farinha extrudada de sorgo integral (FES).

### 2.3 Formulação dos Achocolatados e Aglomeração por Jato de Vapor

As formulações foram calculadas usando um planejamento de misturas simplex com restrição, sendo as proporções de cada ingrediente são apresentadas na Tabela 1.

Para obter uma granulometria próxima ao da farinha de sorgo extrudada, o açúcar cristal também foi moído em moinho de martelo com malha de abertura 1,25 mm, como aconselhado por Palzer (2007), um dia antes do processamento.

O teor mínimo de açúcar e a quantidade máxima da farinha extrudada de sorgo foram escolhidos de acordo com o estudo prévio (Capítulo 3). O teor máximo de maltodextrina foi escolhido baseado no estudo de Eduardo; Lannes (2004), no qual é apresentado um achocolatado em que o primeiro ingrediente é maltodextrina. As proporções de cacau, lecitina e aroma foram fixadas e não fizeram parte do planejamento estatístico.

Todos os ingredientes em pó foram misturados e passados por três peneiras com aberturas de 1,19; 0,85 e 0,60 mm, a fim de desfazer grumos e deixar a mistura homogênea. Logo depois, essas amostras passaram pelo aglomerador piloto por jato de vapor (ICF Industrie CIBEC s.p.a., Itália). O equipamento foi ajustado para 394g/min de vazão dos

sólidos na alimentação,  $1,2 (x10^2)$  kPa) de pressão do vapor,  $74\text{ }^\circ\text{C}$  de temperatura do secador e 12 rpm da velocidade de rotação do cilindro de secagem, equipado com grelha com abertura de 1,41 mm para reter grumos e permitir uma melhor distribuição do pó no jato de vapor. Esses parâmetros foram escolhidos previamente no estudo do Capítulo 3 (condição da amostra A5), no entanto a pressão de vapor foi ajustada para  $1,2 (x10^2)$  kPa), devido uma limitação do equipamento nessa nova data de processamento.

**Tabela 1** – Proporção de ingredientes no planejamento de misturas simplex-centroid com restrição

Tratamento	FES	Açúcar	Maltodextrina	Cacau	Lecitina	Aroma
A1	0%	80%	0%	17,5%	1,5%	1%
A2	40%	40%	0%	17,5%	1,5%	1%
A3	40%	35%	5%	17,5%	1,5%	1%
A4	0%	55%	25%	17,5%	1,5%	1%
A5	20%	35%	25%	17,5%	1,5%	1%
A6	20%	49%	11%	17,5%	1,5%	1%
A7	20%	49%	11%	17,5%	1,5%	1%
A8	20%	49%	11%	17,5%	1,5%	1%

FES: Farinha integral extrudada de sorgo

## 2.4 Avaliação dos achocolatados

### 2.4.1 Tempo de molhabilidade dos achocolatados

O tempo de molhabilidade (MB) foi determinado seguindo a metodologia descrita por Vissotto et al. (2010), considerando o tempo necessário para imersão das partículas de 2 g do achocolatado descarregado manualmente e suavemente, sem agitação sobre 400 mL de água deionizada ( $25\text{ }^\circ\text{C}$ ), com auxílio de um equipamento feito em acrílico apresentado no capítulo 3, em 5 repetições.

### 2.4.2 Distribuição granulométrica de partículas

A distribuição granulométrica dos achocolatados foi feita utilizando 100g da amostra que foi peneirada em peneirador Ro-Tap, modelo RX29-10 (W.S Tyler, Mentor, EUA), por 5 min cada amostra, em triplicata, tempo para separação das frações sem quebra dos grânulos. As peneiras utilizadas foram o fundo (F1);  $75\mu\text{m}$  (F2);  $500\mu\text{m}$  (F3) e  $850\mu\text{m}$  (F4).

### 2.4.3 Tempo de dissolução na água e leite

O tempo de dissolução foi determinado de acordo com a metodologia descrita por Omobuwajo et al. (2000), porém adaptada. A adaptação foi feita considerando a proporção utilizada na análise sensorial (1:10 pó/líquido). Logo, 1 g de achocolatado foi dissolvido em 10 mL de água destilada ou leite semidesnatado (1% de gordura) presente em um béquer de 50 mL ( $3,5\text{ mm}$  de diâmetro) sobre um agitador magnético a 3 rpm (ambos a  $25\text{ }^\circ\text{C}$ ), O tempo para total dissolução foi medido por meio de um cronômetro digital, a partir do momento em que o pó caiu no líquido. O procedimento foi repetido a  $8\text{ }^\circ\text{C}$  usando apenas o leite semidesnatado (1% de gordura), assim como com as diferentes frações das amostras (F1, F2, F3 e F4) obtidas no item 2.4.2.

#### 2.4.4 Densidade aparente antes e após bater, densidade absoluta e volume de poros

A densidade absoluta (DA) e volume de poros foram determinados usando um picnômetro a gás hélio modelo AccuPyc II 1340 (Micromeritics, Norcross, EUA), cujo software Accupyc II 1340 for Windows (Micromeritics, Norcross, EUA) calculou o volume de poros (Equação 1). Enquanto a densidade aparente (DAP) foi mensurada usando uma proveta de vidro de 100 mL e uma balança analítica. A proveta foi pesada vazia e contendo a amostra, essa proveta contendo a amostra foi batida 15 vezes na bancada, para medir a densidade aparente após bater (TBD). A densidade aparente e densidade aparente após bater foram calculadas utilizando a Equação 2.

$$VP = DAP - DA / DAP * DA \quad (1)$$

$$DAP / TBD = m / v \quad (2)$$

Onde, DAP é a densidade aparente; TBD é densidade aparente após bater; m é a massa de amostra pesada; v é o volume ocupado na proveta e VP é o volume dos poros.

#### 2.4.5 Obtenção de imagens

A microestrutura dos achocolatados foi visualizada usando um microscópio eletrônico de varredura em baixo vácuo (MEV) TM 3000 (Hitachi, Tokyo, Japão), a uma aceleração de 15 kV e magnitude de 80x e 500x.

As imagens por escâner das diferentes frações também foram obtidas colocando as amostras em uma placa de petri de vidro e escaneadas usando um escâner de bancada Epson Perfection 1240U (Seiko, Tóquio, Japão) e resolução de 300 dpi.

Fotografias digitais foram obtidas colocando as amostras em placas petri de 8 cm de diâmetro e espalhadas até que a superfície fosse distribuída uniformemente. As fotos foram capturadas utilizando um telefone celular modelo J7 prime SM-G610M/D5 (Samsung, Seul, Coreia do Sul), com as seguintes configurações: distância focal de 35 cm, zoom digital 1, flash ativado, formato JPEG, tamanho 4128x2322 pixels.

#### 2.4.6 Análise sensorial

Foram recrutados 100 participantes adultos, entre eles estudantes e funcionários da Embrapa Agroindústria de Alimentos (Rio de Janeiro, Brasil). Eles foram acomodados em cabines de degustação individuais, onde receberam instruções sobre o teste.

Os provadores receberam 3 g de cada formulação, embalada em saco plástico transparente com números de 3 dígitos aleatórios, de forma monádica e balanceada. O consumidor foi instruído a misturar esse conteúdo em 30 mL de leite UHT semidesnatado à temperatura ambiente, entregue em um copo plástico de 50 mL, usando uma colher pequena de plástico. Os achocolatados foram avaliados em relação a sua solubilidade (SS), assim como quanto à aceitação sensorial (AS) global e doçura (DS). A SS foi avaliada por meio de uma escala de 9 pontos, cujos termos variavam de 1 (muito difícil de dissolver) a 9 (muito fácil de dissolver). A AS foi realizada usando uma escala hedônica de 9 pontos que continha termos entre "gostei extremamente" (correspondente a 9) e "desgostei extremamente" (equivalente a 1). Já a DS foi avaliada usando uma escala 1 (pouco doce) 5 (ideal) a 9 (muito doce). O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa Humana da Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil (código de aprovação N °03591312.0.0000.5149).

#### 2.4.7 Composição centesimal

A umidade e o teor de cinzas das amostras experimentais e comerciais foram medidos utilizando um analisador termogravimétrico TGA-2000 (Navas Instruments, Conway, EUA) a

105 e 550 °C, respectivamente, até peso constante. A quantificação lipídica foi realizada por extração em soxhlet descrito pelo método oficial Am 5-04 da American Oil Chemists Society (AOCS, 2005), a proteína foi medida pelo método de Kjeldahl 2001.11 e a fibra alimentar pelo método 985.29, ambos descritos pela AOAC (2005). Já a quantidade de carboidrato foi calculada por diferença.

#### 2.4.8 Índice glicêmico estimado (IGE) e carga glicêmica (CG)

O índice glicêmico estimado (IGE) e a carga glicêmica (CG) foram mensurados nas amostras A2, A3 (amostras com maior quantidade de FES), A8 (maior escore de AS, dentre as amostras com FES), comercial 2 (maior escore de AS dentre as amostras comerciais) e 3 (com extrato de cereais), por meio de teste *in vitro* da hidrólise do amido estabelecida por Gõni et al. (1997). Nessa análise, 3 hidrólises foram realizadas. Na primeira hidrólise as amostras foram pesadas (50 mg em b.s.) em erlemeyers (de 50 mL) e 10 mL de tampão HCL-KCL 0,1 M (pH 1,5) foi adicionado. Esses erlemeyers foram colocados em banho com agitação a 40 °C, e então 0,2 mL de uma solução de pepsina da mucosa gástrica suína (P-7000, Sigma-Aldrich Inc., > 250 U/mg), contendo 1g/10mL de tampão HCL-KCL, foi adicionada. A pepsina hidrolisou durante 1 hora. Após esse tempo, foi adicionado 15 mL de tampão Tris – Maleato 50 mM (pH 6,9) a fim de parar a primeira hidrólise e ajustar o pH (entre 6,75–7,10) para segunda. Na segunda hidrólise, foi utilizada  $\alpha$ -amilase de pâncreas de porco (A-3176, Sigma – Aldrich Inc. > 5 U/mg). A temperatura do banho foi reduzida para 37 °C e então 5 mL de uma solução contendo 2,6 UI dessa enzima foi adicionado aos erlemeyers e o tempo foi cronometrado. Nessa etapa alíquotas de 1 mL foram retiradas a cada 30 min (0, 30, 60, 90, 120 e 180 minutos) e transferidas para tubos de ensaio. Para cada alíquota retirada, a  $\alpha$ -amilase foi inativada colocando esses tubos em água fervente (~100°C), com agitação, durante 5 minutos, e logo depois refrigeradas, até o final dessa etapa. O tempo 0 h foi retirado antes de colocar a enzima. Na terceira hidrólise foi utilizada amiloglicosidase de *Aspergillus niger* (AMG 300L Novozymes, 300 AGU/mL), preparada na proporção de 0,83 mL da enzima em 5 mL de tampão acetato de sódio 4M (pH 4,75). Foram adicionados 3 mL desse tampão em cada tubo contendo as alíquotas, os quais foram colocados em banho maria a 60 °C e em seguida adicionou-se 30  $\mu$ L da solução de amiloglicosidade em cada tubo. Essa última hidrólise durou 45 minutos. Após essa etapa, a enzima foi inativada colocando os tubos em água fervente (~100 °C) durante 5 minutos. Finalmente, uma alíquota de 15  $\mu$ L foi adicionada a 1,5 mL do reagente GODPOD (Doles, Brasil). Após 10 minutos dessa reação foi feita leitura em espectrofotômetro a 510 nm. O teor de glicose foi calculado utilizando uma curva padrão de glicose. O pão branco passou pelas mesmas etapas que as amostras e foi utilizado como amostra referência. Uma taxa de hidrólise foi calculada, subtraindo a quantidade calculada em cada tempo pela quantidade inicial. A glicose foi convertida em amido multiplicando pelo fator 0,9. A carga glicêmica também foi quantificada pela Equação 5) (DAS et al., 2007), calculando-se a área sob a curva (AUC) de taxa de hidrólise (Equação 3), tanto do pão quanto das amostras usando a Equação 3.

$$AUC = C_f (T_f - T_i) - (C_f/k) [1 - \exp[-k(T_f - T_i)]] \quad (3)$$

Onde, AUC é a área sob a curva;  $C_f$  é a taxa de hidrólise no tempo final;  $T_f$  é o tempo final (180 min);  $T_i$  é o tempo inicial (0 min) e  $k$  é a inclinação da curva.

O índice de hidrólise (IH) foi obtido dividindo a área sob a curva de hidrólise de cada amostra pela área correspondente da amostra de referência (pão branco fresco). Finalmente, o índice glicêmico estimado (EGI) foi calculado pela Equação 4:

$$\text{IGE} = 39,71 + (0,549 \times \text{IH}) \quad (4)$$

$$\text{CG} = \text{IGE} \times \text{carboidrato disponível}/100 \quad (5)$$

Onde, IGE é o índice glicêmico; IH é o índice de hidrólise; O carboidrato disponível é a quantidade total de carboidrato menos a quantidade total de fibras. CG é a carga glicêmica.

## 2.5 Análises Estatísticas

Os resultados foram submetidos à análise de variância ANOVA (*one way*) para determinar se houve diferenças significativas entre as médias dos tratamentos e entre frações granulométricas e entre seus respectivos tempos de dissolução. A normalidade dos resíduos foi testada aplicando o teste de normalidade de Shapiro-Willk, se os resíduos mostraram normalidade e se foi detectado diferença estatística, logo foi aplicado o teste de comparação múltipla de médias de Tukey para avaliar quais tratamentos foram diferentes ( $p < 0,05$ ). Para as variáveis cujos resíduos da ANOVA não apresentaram normalidade, foi aplicada uma transformação de variável calculando o Logaritmo (Log) da variável, logo foi repetido a ANOVA e teste de Tukey onde for preciso. As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software Statistica 10 (StatSoft, Tulsa, EUA) e o software R para computação estatística, versão 3.2.4 (CORE\_TEAM, 2017). Todas as análises estatísticas foram realizadas com significância de 5% ( $\alpha = 0,05$ ).

### 2.4.1 Planejamento estatístico de mistura

Foi utilizado um planejamento de misturas centroide simplex com restrição (Tabela 1), tendo como variáveis independentes a FES (0 a 40%); açúcar (35 a 80%) e maltodextrina (0 a 25%). Os resultados foram ajustados ao seguinte modelo polinomial:

$$Y_i = \hat{\beta}_1 X_1 + \hat{\beta}_2 X_2 + \hat{\beta}_3 X_3 + \hat{\beta}_{12} X_1 X_2 + \hat{\beta}_{13} X_1 X_3 + \hat{\beta}_{23} X_2 X_3 + \hat{\beta}_{123} X_1 X_2 X_3 + \varepsilon_i \quad (6)$$

Onde,

$X_1$ ,  $X_2$  e  $X_3$  foram concentrações da FES, açúcar e maltodextrina, respectivamente.

Y representa as variáveis respostas.

$\hat{\beta}_1$ ,  $\hat{\beta}_2$  e  $\hat{\beta}_3$  são os coeficientes dos efeitos lineares

$\hat{\beta}_{12}$ ,  $\hat{\beta}_{13}$  e  $\hat{\beta}_{23}$  são os coeficientes dos efeitos quadráticos

$\hat{\beta}_{123}$ , é o coeficiente do efeito cúbico

O desenho da mistura, análise e geração de superfície de resposta foram aplicadas às variáveis respostas, exceto para índice glicêmico e carga glicêmica. Foram testados os modelos cúbicos, quadráticos e lineares. Para cada resposta, o modelo com o valor  $R^2$  ajustado mais alto foi escolhido. A otimização da formulação foi feita usando a função desejabilidade (*Desirability*), maximizando na função a aceitação sensorial e o teor de fibra alimentar.

### 2.4.2 Análise de imagens aplicando análise de componentes principais (ACP) e clusterização hierárquica dos componentes principais (HCPC)

As análises de imagens foram realizadas seguindo a metodologia proposta por Chávez (2019). O autor propôs análise de imagens obtidas por escâner para materiais sólidos e grandes, por exemplo, expandidos de sorgo. No entanto, nesse estudo, a metodologia foi adaptada para material em pó, utilizando imagens adquiridas por fotos.

Antes da execução da ACP e CH foi coletado um corte de 1000 x 1000 pixels em cada imagem (no centro da placa petri) a fim de obter a área de estudo, logo, esses cortes foram reduzidos a 250 x 250 pixels para otimizar a demanda computacional (CHÁVEZ, 2019). Na

escala RGB (vermelho, verde e azul), essas imagens são representadas computacionalmente por três matrizes (vermelho, verde e azul) de valores numéricos (cada valor pode variar de 0 a 255).

Para análise, cada corte da imagem obtida foi convertido em um único vetor (BAJWA et al., 2009; CHÁVEZ, 2019), ou seja, a matriz seria unida em uma única coluna (corte com três matrizes  $250 \times 250 \times 3 = 187500$  pixels). No entanto, ao invés de RGB a imagem foi convertida em escala de cinzas para obter apenas uma matriz por imagem, e assim, otimizar ainda mais a demanda computacional (CHÁVEZ, 2019), com isso foi possível reduzir para apenas uma matriz de  $250 \times 250 = 62500$ , logo, cada imagem em cinza foi transformada em um vetor, unindo o final de cada coluna com o início da próxima, esses dados foram transpostos na planilha. Assim, cada imagem gerou um vetor com uma linha de 62500 colunas. Em seguida, todos os onze vetores correspondentes as 11 imagens foram colocadas em uma planilha, gerando uma matriz de 11 linhas e 62500 colunas. Nessa análise foi considerado que cada coluna representava uma variável (BAJWA et al., 2009; CHÁVEZ, 2019). Todas as variáveis (colunas) apresentavam a mesma ordem de grandeza, por isso a ACP foi realizada por matriz de covariância. Os componentes principais encontrados pela ACP foram utilizados para realizar o HCPC para confirmar os grupos de amostras (FERREIRA et al., 2017). O HCPC é uma técnica de agrupamento feita a partir dos resultados do ACP, o algoritmo do HCPC usou distâncias euclidianas entre as amostras e o critério de Ward entre os grupos.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Características Físicas e Químicas

As características físicas dos achocolatados podem ser observadas nas Tabelas 2, 3 e 4. O tempo de molhabilidade variou de 2 s (comercial 2) a 678 s (A3) (Tabela 2). Já o tempo de dissolução variou de 4 s (comercial 2) a 64 s (A3), em água, e de 3 s (comercial 2) a 21 s (A2, A3, A6 e A8) em leite, ambos a 25 °C. Assim como no Capítulo 4, os resultados de tempo de molhabilidade e dissolução deste capítulo também foram convertidos em logaritmo devido à falta de normalidade dos resíduos.

As amostras A3 (40% FES, 35% açúcar, 5% maltodextrina), A6 e A8 (20% FES, 49% açúcar, 11% maltodextrina) apresentaram maior tempo de molhabilidade. Assim como, o tempo de dissolução em leite foi maior para a amostra A3 e A8 e em água para A3, A8, A6, seguido de A2, A4 e por último A5. A amostra comercial 2 apresentou menor tempo de molhabilidade e menores tempos de dissolução em leite e em água. Já as amostras comerciais 1 e 3 apesar de terem apresentado menor tempo de molhabilidade em relação às amostras experimentais, apresentaram semelhança estatística do TD em leite, à algumas amostras experimentais, contendo sorgo. Essas amostras comerciais molhavam-se facilmente, todavia após a imersão das partículas, havia a formação de grumos e por isso o tempo de dissolução foi maior que o tempo de molhabilidade. Os grumos podem ser formados devido à baixa porosidade, ou ao menor tamanho de partículas (VISSOTTO et al., 2006).

Ainda na Tabela 2, é possível observar que o tempo de dissolução em leite foi maior quando comparado ao TD em água. Isso pode estar relacionado às interações químicas de polaridade (PALZER, 2011; CUQ et al., 2013) ou até mesmo às diferentes densidades desses líquidos. A maior parte do achocolatado foi formulada com ingredientes que possuem moléculas polares (por exemplo, carboidratos, polissacarídeos, proteínas, ácidos orgânicos, ácidos inorgânicos, sais minerais, etc.), os quais apresentam maior capacidade de interação com líquidos polares, como a água, estabelecendo ligações de hidrogênio ou interações iônicas.



O aumento no TD também foi observado quando a temperatura do leite foi reduzida a 8 °C, esse tempo também se tornou de 3 a 4 vezes maior que a 25 °C, em todas as amostras. Fitzpatrick et al. (2016) também observaram esse comportamento em outros tipos de alimentos em pó e concluíram que além da temperatura a intensidade e tipo de agitação do produto em pó pode influenciar no tempo de dissolução.

**Tabela 2** – Tempo de molhabilidade e tempo de dissolução das amostras experimentais e comerciais em segundos ou log.

Amostra	MB água 25 °C (s)	TD leite 25°C (s)	TD água 25°C (s)	TD leite 8°C (s)	Log MB (água, 25 °C)	log TD (leite 25 °C)	log TD (água, 25 °C)	Log TD (leite 8 °C)
A1	15,57 ± 2,68	17,25 ± 1,70	14,50 ± 1,29	63±13,15f	1,18 ± 0,07 e	1,23 ± 0,04 e	1,16 ± 0,03 abc	1,79±0,08c
A2	372,00 ± 66,17	37,75 ± 3,77	20,75 ± 1,25	172±2,54bc	2,56 ± 0,08 b	1,57 ± 0,04 bc	1,31 ± 0,02 a	2,24±0,01ab
A3	678,75 ± 76,10	64,75 ± 2,87	19,75 ± 1,50	232±11,82a	2,83 ± 0,04 a	1,81 ± 0,019 a	1,29 ± 0,03 ab	2,36±0,02a
A4	215,75 ± 21,37	27,25 ± 3,20	17,75 ± 0,95	128±8,48e	2,33 ± 0,04 c	1,43 ± 0,05 cd	1,24 ± 0,02 ab	2,11±0,02b
A5	147,5 ± 48,78	42,00 ± 4,89	18,25 ± 1,25	195±19,73b	2,15 ± 0,14 d	1,62 ± 0,05 b	1,26 ± 0,02 ab	2,27±0,05ab
A6	543,25 ± 148,97	35,50 ± 2,38	21,5 ± 2,08	162±6,95cd	2,72 ± 0,11 ab	1,54 ± 0,03 bc	1,33 ± 0,04 a	2,21±0,02ab
A7	237,00 ± 29,29	15,50± 1,91	9,75 ± 2,21	173±10,81bc	2,37 ± 0,05 c	1,18 ± 0,05 e	0,98 ± 0,09 d	2,25±0,03ab
A8	456,25 ± 17,97	50,25 ± 3,30	21,75 ± 3,59	146±11,35de	2,65 ± 0,01 ab	1,70 ± 0,02 ab	1,33 ± 0,06 a	2,18±0,05ab
Com1	8,47 ± 0,41	45,32 ± 5,70	13,39 ± 2,89	48±0,87fg	0,92 ± 0,02 f	1,65 ± 0,05 b	1,11 ± 0,09 bcd	1,80±0,24c
Com2	2,04 ± 0,02	4,18 ± 0,67	3,08± 1,38	8±1,29h	0,31 ± 0,00 g	0,61 ± 0,07 f	0,46 ± 0,16 e	0,92±0,06e
Com3	8,47 ± 1,06	20,94 ± 6,58	10,01 ± 0,84	37±1,18g	0,92 ± 0,05 f	1,30 ± 0,15 de	1,00 ± 0,03 cd	1,57±0,01d

Os dados representam as médias ± desvio padrão (n = 5). MB: Tempo de molhabilidade; TD: Tempo de dissolução. Diferentes letras na mesma coluna indicam diferença estatística segundo teste de médias Tukey (p < 0,05).

A densidade absoluta (DA) apresentou pouca variação entre 1,455 (A5) a 1,57 g/cm<sup>3</sup> (Comercial 1 e 2), assim como volume de poros (VP) que variou de 0,313 cm<sup>3</sup> (A5) a 0,364 cm<sup>3</sup> (Comercial 1 e 2). Já os valores de densidade aparente e compactada variaram de 0,296 e 0,322 a 0,703 e 0,886 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente (Tabela 3). Os achocolatados comerciais 1 e 2 apresentaram maior DA e VP ( $p < 0,05$ ). O volume total de poros é calculado pelo software, que considera tanto o volume de poros abertos quanto o volume de poros fechados (WEBB, 2001). Nesse estudo, o volume de poros observado por análise em picnômetro das amostras comerciais provavelmente representa os poros fechados ou microporos não visíveis por microscopia eletrônica de varredura, pois não foram observados poros superficiais nessas amostras (Figura 1). A segunda maior DA, assim como VP, foram observados na amostra A1 (1,555 g/cm<sup>3</sup>; 0,357 cm<sup>3</sup>, respectivamente), sem adição de farinha integral de sorgo na sua formulação, semelhante às comerciais. A amostra comercial 1 apresentou também maior valor de densidade aparente e TBD, enquanto as amostras contendo FES apresentaram menores valores de densidade, principalmente aparente.

As diferentes granulometrias, assim como o tempo de dissolução dessas diferentes frações estão apresentadas na Tabela 4 e pode ser visualizada na Figura 2. A F1 (fundo) foi a fração que apresentou menores porcentagens na maioria das amostras, cuja variação foi de 3,12% (comercial 1) a 13,97 % (A8). Nessa fração, a amostra comercial 2, não diferiu de algumas amostras experimentais contendo sorgo. Já em F2 (>75 e <500 μm), a porcentagem variou de 19,57% (A1) a 80,25 % (comercial 1). As amostras comerciais apresentaram maior quantidade de partículas nessa fração se comparadas às amostras experimentais. Na F3 (>500 e < 850 μm) a variação foi de 5,97% (comercial 3) a 22,06 % (A7). Enquanto em F4 (> 850 μm), foi de 1,51% (comercial 3) a 56,40% (A1).

As amostras comerciais apresentaram maior quantidade de partículas pequenas, enquanto as amostras experimentais, como A1, formuladas sem FES apresentaram maior quantidade de aglomerados maiores (> 500 μm). A formação de aglomerados maiores em A1 (sem FES) pode ser devido a maior quantidade de açúcar nessa amostra.

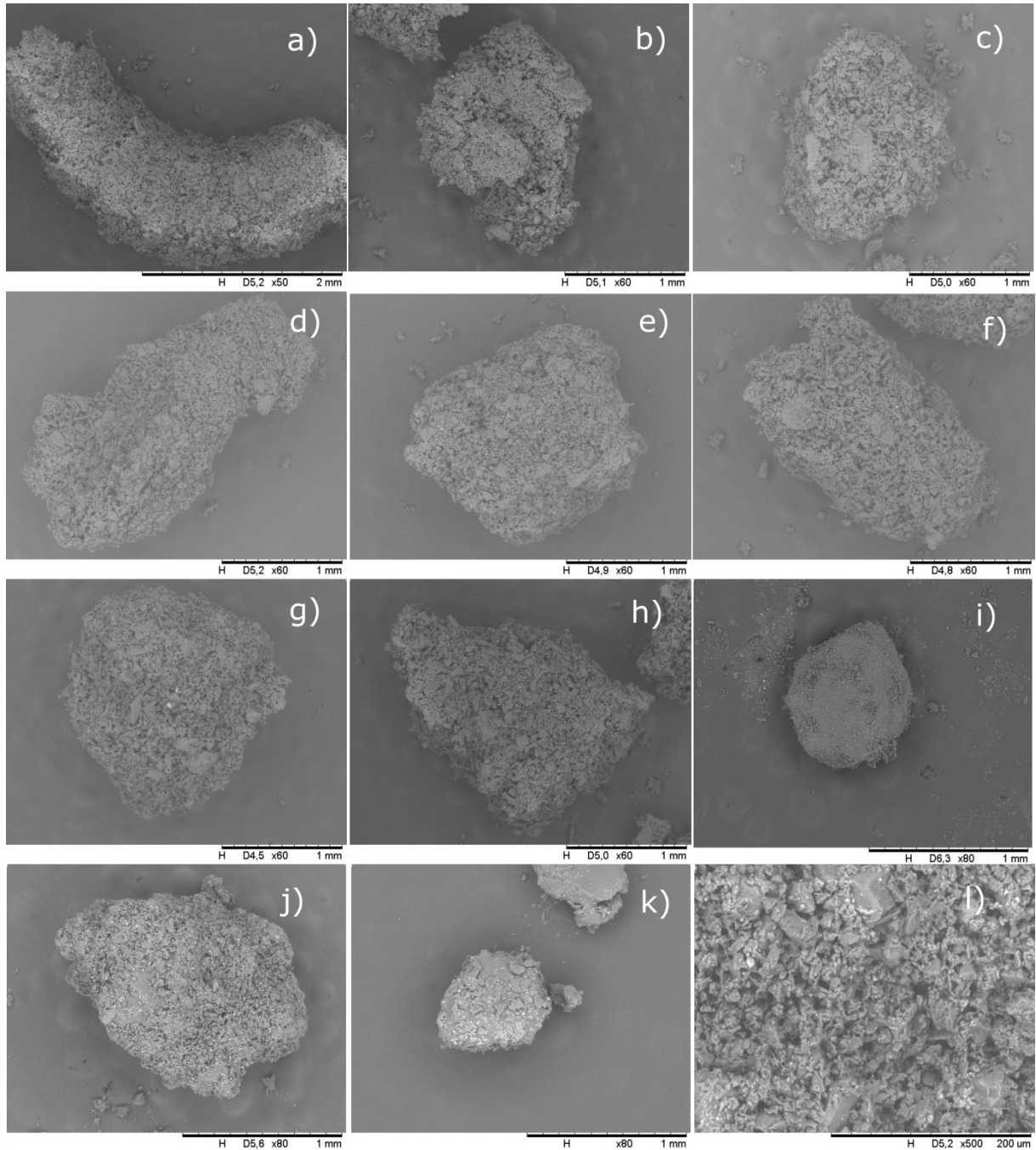
**Tabela 3** – Densidade das amostras experimentais e amostras comerciais de achocolatados

Amostras	DA (g/cm <sup>3</sup> )	PV (cm <sup>3</sup> )	DAP (g/cm <sup>3</sup> )	TBD (g/cm <sup>3</sup> )
A1	1,555 ± 0,00 b	0,357 ± 0,000 b	0,347 ± 0,005 ef	0,37 ± 0,006 def
A2	1,488 ± 0,005 c	0,328 ± 0,002 c	0,306 ± 0,008 hi	0,329 ± 0,011 f
A3	1,477 ± 0,004 cd	0,323 ± 0,002 cd	0,305 ± 0,003 hi	0,338 ± 0,004 f
A4	1,479 ± 0,004 cd	0,324 ± 0,002 cd	0,379 ± 0,01 d	0,422 ± 0,012 d
A5	1,455 ± 0,004 e	0,313 ± 0,002 e	0,334 ± 0,005 fg	0,368 ± 0,008 def
A6	1,483 ± 0,001 c	0,326 ± 0,001 cd	0,318 ± 0,004 gh	0,345 ± 0,005 ef
A7	1,488 ± 0,001 c	0,328 ± 0,001 c	0,296 ± 0,004 i	0,322 ± 0,006 f
A8	1,487 ± 0,003 c	0,327 ± 0,001 c	0,361 ± 0,011 de	0,396 ± 0,006 de
Com1	1,575 ± 0,000 a	0,364 ± 0,001 a	0,703 ± 0,008 a	0,886 ± 0,057 a
Com2	1,572 ± 0,001 a	0,364 ± 0,001 a	0,556 ± 0,001 b	0,685 ± 0,008 b
Com3	1,472 ± 0,001 d	0,321 ± 0,001 d	0,422 ± 0,004 c	0,568 ± 0,008 c

Os dados representam as médias ± desvio padrão (n=3). Diferentes letras na mesma coluna indicam diferença estatística entre as amostras segundo teste de médias Tukey ( $p < 0,05$ ). DA: Densidade absoluta; PV: volume de poros; DAP: Densidade aparente; TBD: Densidade aparente após bater;

Além de maior quantidade de aglomerados de tamanho maior, aqueles com maior teor de açúcar (A1 e A4) apresentaram grânulos com forma cilíndrica, (Figura 1). Segundo Cuq

(2013), a forma das partículas nativas dos ingredientes afeta os mecanismos de aglomeração e as propriedades dos aglomerados resultantes. Kowalska; Lenart (2005), em seu estudo sobre achocolatados aglomerados também observaram aumento da granulometria dos aglomerados quando a quantidade de açúcar foi aumentada na formulação de revestimento usada antes da aglomeração, porém os autores não apresentaram uma explicação para isso. Uma explicação para esse fenômeno pode ser a formação de pontes mais rígidas entre as partículas causadas pela reação química ou solidificação do açúcar (PIETSCH, 2003), ou seja, passagem para um estado vítreo com maior resistência à quebra durante a secagem e envase.

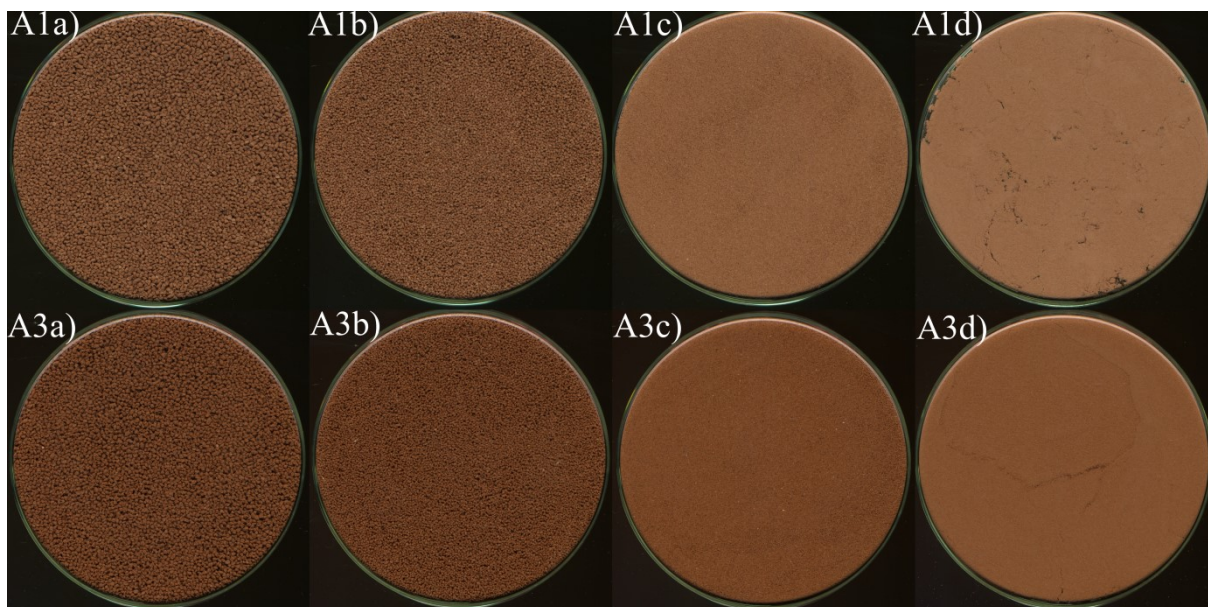


**Figura 1** – Imagens de aglomerados de amostras experimentais e comerciais. a) A1; b) A2; c) A3; d) A4; e) A5; f) A6; g) A7; h) A8; i) Comercial; j) Comercial 2; k) Comercial 3; l) A1 (x500).

**Tabela 4** – Fração granulométrica e tempo de dissolução de cada fração das amostras de achocolatados experimentais e comerciais

Amostra	F1 (%)	F2 (%)	F3 (%)	F4 (%)	TDF1 (Log)	TDF2 (Log)	TDF3 (Log)	TDF4 (Log)
A1	8,01 ± 0,85bcd, C	19,57 ± 2,01c, B	15,94 ± 0,67bcd, B	56,40 ± 2,29 <sup>a</sup> , A	2,13 ± 0,09de, α	1,49 ± 0,06e, γ	1,53±0,20c, βγ	1,85±0,07e, αβ
A2	7,63 ± 1,13cd, D	29,76 ± 2,33bc, B	19,20 ± 2,58abc, C	43,43 ± 5,66ab, A	2,25 ± 0,02cd, β	2,03 ± 0,01c, γ	1,97±0,04a, γ	2,44±0,01a, α
A3	10,18 ± 1,06abc, C	40,69 ± 6,87 bc, A	19,21 ± 2,17abc, BC	30,61 ± 8,31bc, AB	2,40 ± 0,02a, α	2,32 ± 0,03a, α	2,08±0,09a, β	2,24±0,13bc, αβ
A4	12,08 ± 1,70abc, C	35,98 ± 6,13 bc, A	16,67 ± 1,33bcd, C	35,25 ± 7,82b, B	2,10 ± 0,05e, α	1,98 ± 0,02c, β	1,75±0,06bc, γ	2,07±0,00d, αβ
A5	9,94 ± 1,42abc, C	47,45 ± 11,25 b, A	20,37 ± 1,95ab, BC	30,88 ± 4,53bc, B	2,12 ± 0,06de, β	2,09 ± 0,04bc, βγ	2,00±0,03a, γ	2,33±0,00ab, α
A6	9,08 ± 1,38abc, B	36,15 ± 3,79 bc, A	16,66 ± 1,31bcd, B	38,43 ± 5,28b, A	2,37 ± 0,02ab, α	2,16 ± 0,06b, β	1,98±0,05a, γ	2,40±0,05ab, α
A7	8,21 ± 4,78bcd, C	33,89 ± 4,23 bc, A	22,06 ± 1,41 <sup>a</sup> , B	37,62 ± 4,62b, A	2,26 ± 0,00bc, α	2,09 ± 0,01bc, γ	1,92±0,02ab, δ	2,16±0,01cd, β
A8	13,97 ± 0,70 <sup>a</sup> , C	48,51 ± 1,11 b, A	16,08 ± 1,68bcd, C	21,25 ± 1,92c, B	2,45 ± 0,01a, α	2,15 ± 0,02b, γ	1,89±0,02ab, δ	2,24±0,03bc, β
Com1	3,12 ± 1,72 d, C	80,25 ± 1,51 a, A	15,01 ± 1,14cd, B	2,75 ± 0,54d, C	1,71 ± 0,00f, α	1,65 ± 0,00d, α	1,17±0,02d, β	1,10±0,09f, β
Com2	13,33 ± 1,03ab, B	74,05 ± 1,91 a, A	11,95 ± 0,62d, B	1,78 ± 0,12d, C	1,74 ± 0,00f, α	0,75 ± 0,05f, β	1,04±0,01d, β	1,07±0,00f, γ
Com3	7,80 ± 0,32cd, B	74,97 ± 21,02 a, A	5,97 ± 2,21e, B	1,51 ± 0,20d, B	1,74± 0,02f, α	1,62 ± 0,02d, β	1,22±0,00d, γ	1,19±0,02f, γ

Os valores representam as médias ± desvio padrão (n=3). Diferentes letras minúsculas nas colunas indicam diferença estatística entre as amostras. Diferentes letras maiúsculas nas linhas representam diferença estatística entre as frações e diferentes letras gregas nas linhas indicam diferença entre os tempos de dissolução das frações segundo teste de médias Tukey (p < 0,05). F1: fundo da peneira; F2: 75µm; F3: 500 µm; F4: 850 µm. TDF1: Tempo de dissolução da fração 1.



**Figura 2** – Imagens das diferentes frações dos achocolatados (sem sorgo) A1 e (com 40% de sorgo) A3.

No entanto, tamanhos maiores de aglomerados podem dificultar a dissolução dessas amostras. Na maioria das amostras, F1 e F4 apresentaram maiores tempos de dissolução ( $p < 0,05$ ), enquanto F3 apresentou para a maioria das amostras, o menor tempo de dissolução. Isso ocorre porque partículas menores que  $100 \mu\text{m}$  são consideradas primárias, também chamadas de “finos”, as quais demandam mais esforço e tempo para dissolverem (HOGEKAMP et al., 1996). Já os grânulos maiores afundam, porém, apresentam dificuldade de se desintegrarem durante a análise.

Outra observação é o menor tempo de dissolução das amostras comerciais em todas as frações, quando comparado às amostras experimentais. Uma das hipóteses é a maior adição de lecitina nessas amostras comerciais. Essa hipótese é reforçada quando se observa a microestrutura das amostras (Figura 1). A estrutura da superfície dos aglomerados foi semelhante para todas as amostras experimentais, porém, apresentou diferenças quando comparado às amostras comerciais. A superfície porosa das partículas aglomeradas pode ser observada em todas as amostras, exceto nas amostras comerciais 1 e 3, isto porque essas partículas maiores nessas amostras não eram granulados obtidos por aglomeração, mas sim cristais de açúcar que podiam ser vistos macroscopicamente. O menor tempo de dissolução dessas amostras comerciais pode ser devido a maiores quantidades de açúcar e lecitina utilizados em suas formulações. De acordo com Palzer (2011), quando partículas secas entram em contato com algum líquido, a água é induzida a passar da superfície que ficou úmida para o núcleo que ainda está seco por meio de dois mecanismos diferentes. Um deles é por capilaridade, quando as partículas são porosas e gotas de água, por exemplo, colidindo com partículas porosas penetram em menos de 0,1 s. O outro mecanismo é por difusão, que ocorre em partículas densas, a difusão é dependente da razão cristalina/ amorfa e do volume livre acessível às moléculas de água. Gotas de água que colidem com superfícies cristalinas não migram. Assim como, gotas que colidem com as estruturas de partículas não porosas ou saturadas permanecem mais tempo na superfície (CUQ et al., 2013). Em ambos os mecanismos a dissolução do pó depende também da composição química do alimento em pó e do seu estado físico (VISSOTTO, 2014).

A composição centesimal variou ( $p < 0,05$ ) entre as formulações e produtos comerciais (Tabela 5). As amostras comerciais 1 e 2 apresentaram valores muito baixos de

umidade (0,46 e 0,72 g/100g, respectivamente), enquanto as amostras A3 e A5 apresentaram maiores valores de umidade (4,07 e 4,05 g/100g, respectivamente). O conteúdo de cinzas variou de 1,29 (comercial 1) a 5,98 (comercial 3), no entanto entre as amostras experimentais a variação não foi tão expressiva. O mesmo comportamento foi observado para o teor de proteína que foi maior na amostra comercial 3 (14,37 g/100g) e menor na comercial 1 (2,62 g/100g). Dentre as amostras experimentais, as amostras contendo maior conteúdo de sorgo A2 e A3 apresentaram maior teor de proteína e cinzas. Já o extrato etéreo foi maior para as amostras experimentais e menores para as amostras comerciais. Essa diferença pode ter sido devido a diferenças na quantidade de cacau utilizada, que pode ter sido maior nas amostras experimentais. O teor de lipídeo do cacau utilizado em achocolatados é geralmente entre 10 e 12% e pode contribuir para aumentar o tempo de molhabilidade.

O teor de carboidrato foi maior nas amostras comerciais e nas amostras contendo maior teor de açúcar A1 e A4. O teor de fibras foi maior nas amostras contendo sorgo e menor para as amostras comerciais. A fibra alimentar é um dos componentes do alimento que podem influenciar no índice glicêmico, assim como açúcares, teor de gordura, proteína, e antinutriente, como é o caso dos taninos condensados (FERRER-MAIRAL et al., 2012).

**Tabela 5** – Composição centesimal das amostras experimentais e comerciais

	Umidade (g/100g)	Cinzas (g/100g)	Proteína (g/100g)	Extrato Etéreo (g/100g)	Carboidratos (g/100g)	Fibras (g/100g)
<b>A1</b>	1,345±0,00e	2,01±0,03e	5,12±0,00d	3,89±0,02ab	77,33±1,05b	8,2±1,06bcd
<b>A2</b>	3,55±0,01b	2,44±0,00c	9,37±0,02b	4,44±0,33a	67,03±1,21e	12,91±0,98a
<b>A3</b>	4,07±0,00a	2,47±0,00c	9,62±0,03b	4,43±0,31a	66,29±1,13e	12,85±1,06a
<b>A4</b>	2,695±0,03d	2,01±0,01e	5,18±0,00d	3,33±0,02abcd	78,49±0,86b	8,18±0,82bcd
<b>A5</b>	4,05±0,07a	2,22±0,02d	7,43±0,01c	3,03±0,70bdc	73,72±0,60c	9,89±1,26abc
<b>A6</b>	3,21±0,02c	2,20±0,02d	7,25±0,00c	4,15±0,13a	71,82±0,55cd	11,22±0,74ab
<b>A7</b>	3,12±0,01c	2,21±0,00d	7,18±0,00c	3,95±0,19ab	72,15±0,71c	11,15±0,91ab
<b>A8</b>	3,12±0,01c	2,22±0,01d	7,12±0,00c	3,74±0,26abc	72,49±0,53c	11,08±0,74ab
<b>Com1</b>	0,46±0,00g	1,29±0,00f	2,62±0,01f	1,38±0,02e	89,38±1,31a	4,81±1,42d
<b>Com2</b>	0,72±0,02f	5,37±0,09b	3,62±0,00e	2,44±0,16de	81,29±0,63b	6,47±0,39cd
<b>Com3</b>	3,43±0,11b	5,98±0,02a	14,37±0,02a	2,67±0,01cd	68,12±0,92de	6,15±0,86cd

Os dados representam as médias ± desvio padrão (n = 3). Letras diferentes nas colunas indicam diferença estatística (p < 0,05). nd: não analisado.

O IGE (Tabela 6) foi mensurado apenas nas amostras com maior quantidade de sorgo (A2 e A3), em duas amostras comerciais (1 e 2) e na amostra contendo sorgo com maior escore de AS (A8). IGE variou de 46,88 (comercial 2) a 64,37 (comercial 3). O aumento do teor de FES reduziu ligeiramente o valor do IGE, apesar de não ter sido estatisticamente significativo. Moraes et al. (2015), observaram que o índice glicêmico foi menor em farinha integral de sorgo comparado à amostra descortificada, conseqüentemente observaram que houve correlação negativa entre o IGE e a quantidade de compostos fenólicos, alguns flavonoides e fibra alimentar. Anuniação et al. (2018) avaliaram o efeito do consumo de uma bebida extrudada contendo sorgo sobre a glicemia pós-prandial de uma refeição subsequente em indivíduos adultos com peso normal e normoglicêmicos. Esses autores concluíram que a ingestão de preparações contendo sorgo pode ser uma estratégia eficaz para reduzir a glicemia pós-prandial de uma refeição subsequente, que por sua vez pode levar a uma melhoria no controle glicêmico. Isso poderia trazer benefícios à população em geral, ao impedir ou atrasar o desenvolvimento de doenças relacionadas à resistência a insulina (AUGUSTIN et al., 2002; FERRER-MAIRAL et al., 2012).

**Tabela 6** – Índice glicêmico das amostras experimentais e comerciais de achocolatado

	IGE	CG
A2	47,47± 6,36b	31,81±4,2b
A3	54,19± 5,21ab	35,92±3,45ab
A8	55,62± 3,32ab	40,32±2,41ab
Com 2	46,88± 1,60 b	38,10±1,30ab
Com 3	64,37 ± 10,64 a	43,85±7,24a

Os dados representam as médias ± desvio padrão (n = 3). Letras diferentes nas colunas indicam diferença estatística (p < 0,05). IGE: índice glicêmico estimado; CG: Carga glicêmica

A amostra comercial 2 apresenta em sua formulação como primeiro ingrediente o açúcar (sacarose), mas apresentou o menor valor de índice glicêmico. Uma das possíveis explicações é que o efeito glicêmico dos alimentos depende não apenas dos ingredientes utilizados, como também da textura e tamanho das partículas dos alimentos (TOVAR, 2003), do tipo de amido (a proporção de amilose/amilopectina) (BEHALL ; SCHOLFIELD, 2005), do aprisionamento físico das moléculas de amido e processamento dos alimentos (FERRER-MAIRAL et al., 2012).

A CG (Tabela 4), variou de 31,81 (A2) a 43,85 (Comercial 3). A CG é classificada como: baixa (<10), intermediária (11-19) e alta (>20). Todas as amostras apresentaram alta carga glicêmica. É importante destacar que a amostra comercial 2 apesar de apresentar baixo índice glicêmico, apresentou maior carga glicêmica que outras amostras, como A3, cujo valor de índice glicêmico era maior. A CG tem sido associada a risco de diabetes tipo 2, pois indica o quanto de carboidrato há no alimento e como cada grama desse carboidrato aumenta os níveis de glicose no sangue, quando ingerida uma determinada porção desse alimento (ELEAZU, 2016).

### 3.2 Avaliação Sensorial

A solubilidade avaliada por análise sensorial (SS) (Tabela 7) variou de 3,37 (A3) a 8,6 (comercial 2). Já a aceitação global variou de 3,47 (comercial 3) a 6,71 (A1). Enquanto a doçura (DS) variou de 2,91 (comercial 3) a 7,12 (comercial 1).

**Tabela 7** – Aceitação sensorial, avaliação da solubilidade e da doçura das amostras experimentais e comerciais de achocolatados

	Avaliação da		
	Solubilidade Sensorial	Aceitação global	Doçura Ideal
A1	5,0 ± 2,2 c	6,7 ± 1,7 a	6,0 ± 1,4 b
A2	3,7 ± 2,1 d	5,0 ± 2,2 ef	3,8 ± 1,5 d
A3	3,3 ± 2,1 d	4,3 ± 2,2 f	3,4 ± 1,6 de
A4	4,0 ± 2,3 d	6,2 ± 1,8 ab	4,9 ± 1,3 c
A5	3,5 ± 2,0 d	5,0 ± 2,1 def	3,8 ± 1,7 d
A6	3,9 ± 2,2 d	5,5 ± 2,2 bcd	4,5 ± 1,5 c
A8	3,6 ± 2,0 d	5,8 ± 1,9 bcde	4,4 ± 1,3 c
Comercial 1	6,8 ± 1,9 b	5,4 ± 2,4 cde	7,1 ± 1,5 a
Comercial 2	8,6 ± 0,8 a	6,2 ± 2,1 abc	6,0 ± 1,7 b
Comercial 3	6,8 ± 1,9 b	3,4 ± 2,0 g	2,9 ± 1,5 e

Os dados representam as médias ± desvio padrão (n=3). Diferentes letras nas colunas indicam diferença estatística entre os valores pelo teste Tukey (p<0,05).



A1, A4 e comercial 2 apresentaram maiores notas de AS. A comercial 2 pode ter sido uma das mais aceitas, principalmente pelo seu menor tempo de dissolução, uma vez que, tanto ela, quanto amostra A1 apresentaram doçura acima do ideal. A amostra comercial 2 apresentou maiores notas na escala de solubilidade, ou seja, mais próximo ao “muito fácil de dissolver”, o que condiz com os resultados físicos de tempo de molhabilidade e tempo de dissolução (Tabela 2).

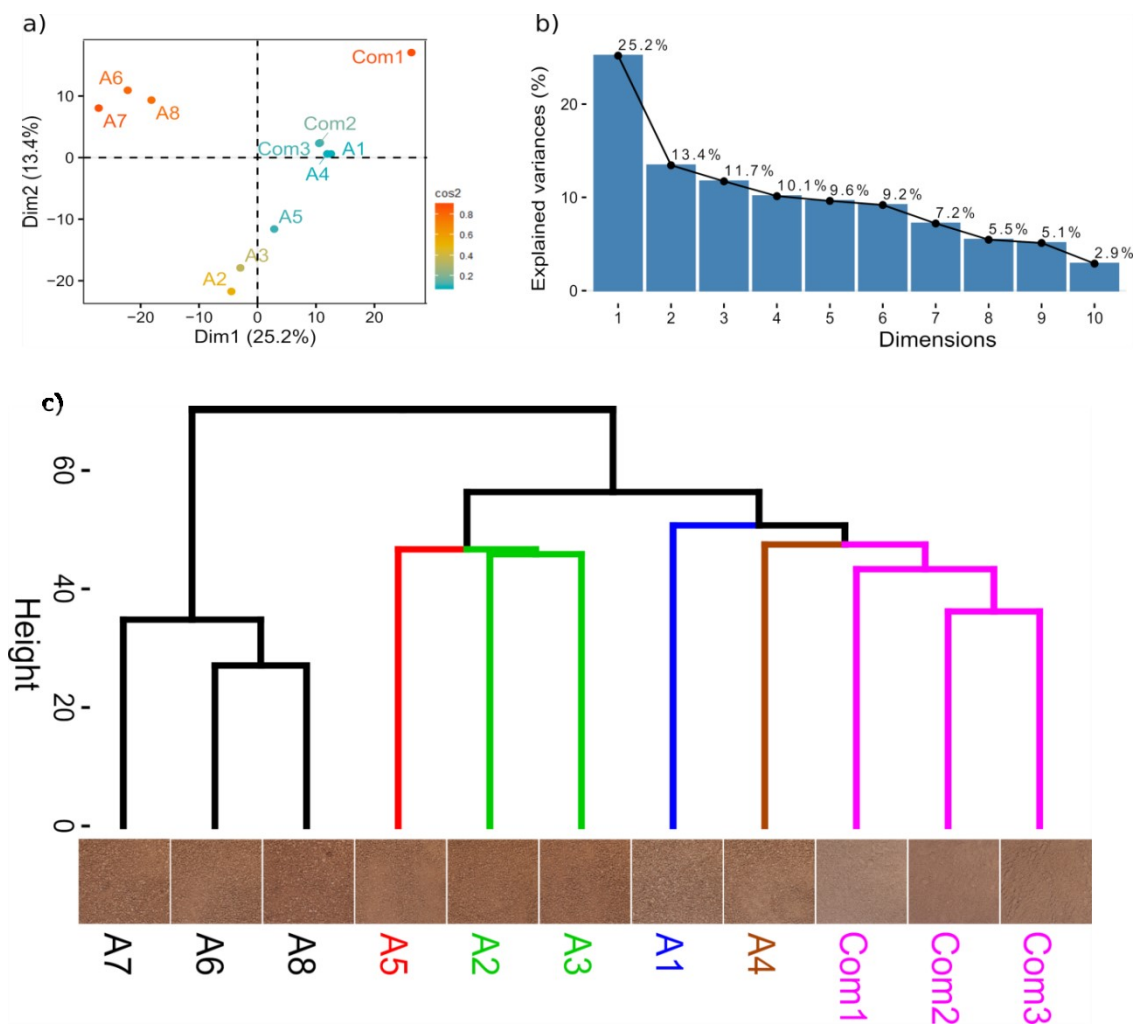
A amostra comercial 3 apresentou a menor nota de aceitação sensorial, sendo menor que nas amostras experimentais com maior quantidade de FES como A3. Apesar disso, esse achocolatado está à venda em supermercados e apresenta em seu marketing apelo nutricional por ser “adoçado” com extrato de malte e cevada, sendo chamado pela marca seguido da palavra cereal em seu rótulo.

### **3.3 Efeito dos Ingredientes sobre as Características dos Achocolatados**

#### *ACP e clusters das imagens*

Os resultados do ACP das imagens dos achocolatados estão apresentados na Figura 3. As dimensões 1 e 2 explicam 38,6% da variabilidade dos dados. Apesar de explicar pouco, é possível sugerir que a presença e a quantidade dos ingredientes afetaram a aparência do produto, pois as amostras se diferenciaram em suas imagens, o que engloba não só a cor, mas também o aspecto granulado. Segundo Chávez (2019), quando se trabalha com matriz de covariância, a porcentagem explicada pelas componentes tende a ser menor que quando utilizada matriz de correlação. Por isso, nesse caso é feito a clusterização a partir das componentes principais (HCPC), que contribui para visualização e diferenciação das amostras, pois utiliza todas as componentes e, portanto, representou a variabilidade total das imagens.

Assim, de acordo com as características de aparência das amostras, elas foram agrupadas por cluster, em 6 grupos sinalizados pelas cores na Figura 3c. Grupo 1 composto pelos pontos centrais do planejamento (A7, A6, A8); Grupo 2, a amostra A5; Grupo 3 pelas amostras com maior teor de sorgo (A2 e A3); Grupo 4 pela amostra A4; Grupo 5 pela amostra A1 e grupo 6 pelas amostras comerciais.



**Figura 3** – Resultado da análise de imagens: a) APC das imagens; b) Contribuição das dimensões; c) Cluster hierárquico a partir das componentes principais (HCPC) das imagens das amostras experimentais e comerciais.

*Modelos matemáticos e efeito dos ingredientes sobre as variáveis respostas*

Os modelos matemáticos para as variáveis respostas das amostras experimentais estão apresentados na Tabela 8. No planejamento de misturas, quando a interação entre os fatores (os ingredientes) é significativa, o modelo é quadrático.

O valor de  $p$  foi significativo ( $p < 0,05$ ) para cada modelo escolhido para as respostas. As respostas apresentaram ótimo ajuste dos modelos (quadrático ou linear), pois o  $R^2$  ajustado variou de 0,982 a 0,999. A maioria das respostas apresentou modelo linear, isto é, não demonstrando efeito significativo da interação entre os ingredientes sobre as características das amostras experimentais.

**Tabela 8** – Modelo matemático das variáveis respostas do planejamento de misturas com restrição

Modelo matemático para variáveis respostas	Modelo	Significância do modelo (valor de p)	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> ajustado
DA = 1,450X <sub>1</sub> +1,555X <sub>2</sub> +1,385X <sub>3</sub> - 0,067X <sub>1</sub> X <sub>2</sub> - 0,106X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	Q	<b>0,0000001</b>	0,999	0,999
VP = 0,301X <sub>1</sub> + 0,355X <sub>2</sub> + 0,256X <sub>3</sub>	L	<b>0,0000000</b>	0,999	0,999
DAP = 0,252X <sub>1</sub> + 0,354X <sub>2</sub> + 0,408X <sub>3</sub>	L	<b>0,0000043</b>	0,998	0,997
TBD = 0,267X <sub>1</sub> + 0,367X <sub>2</sub> + 0,468X <sub>3</sub>	L	<b>0,0000115</b>	0,997	0,995
F1 = 8,042X <sub>1</sub> + 8,089X <sub>2</sub> + 17,040X <sub>3</sub>	L	<b>0,0001849</b>	0,990	0,982
F2 = 49,155X <sub>1</sub> + 18,268X <sub>2</sub> + 82,239X <sub>3</sub>	L	<b>0,0000307</b>	0,995	0,992
F3 = 22,977X <sub>1</sub> + 15,880X <sub>2</sub> + 86,057X <sub>3</sub> - 72,678 X <sub>1</sub> X <sub>3</sub> - 98,709X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	Q	<b>0,0004363</b>	0,999	0,999
F4= 22,627X <sub>1</sub> + 55,817X <sub>2</sub> - 6,499X <sub>3</sub>	L	<b>0,0000405</b>	0,995	0,991
MB = 3,885X <sub>1</sub> + 1,195X <sub>2</sub> - 14,816 X <sub>3</sub> + 17,518X <sub>1</sub> X <sub>3</sub> + 28,617X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	Q	<b>0,0002935</b>	0,999	0,999
TD (leite) = 2,079X <sub>1</sub> + 1,201X <sub>2</sub> + 1,842X <sub>3</sub>	L	<b>0,0001875</b>	0,989	0,982
TD (água)= 0,771X <sub>1</sub> + 1,160X <sub>2</sub> + 0,449X <sub>3</sub> + 1,401X <sub>1</sub> X <sub>2</sub> + 0,883X <sub>1</sub> X <sub>3</sub> + 1,448X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	Q	<b>0,0007835</b>	0,999	0,999
SS = 2,271X <sub>1</sub> + 4,984X <sub>2</sub> + 2,094X <sub>3</sub>	L	<b>0,0000036</b>	0,998	0,997
AS = 2,800X <sub>1</sub> + 6,893X <sub>2</sub> + 4,842X <sub>3</sub>	L	<b>0,0000039</b>	0,998	0,997
DS = 1,481X <sub>1</sub> + 6,085X <sub>2</sub> + 2,467X <sub>3</sub>	L	<b>0,0000001</b>	0,999	0,999

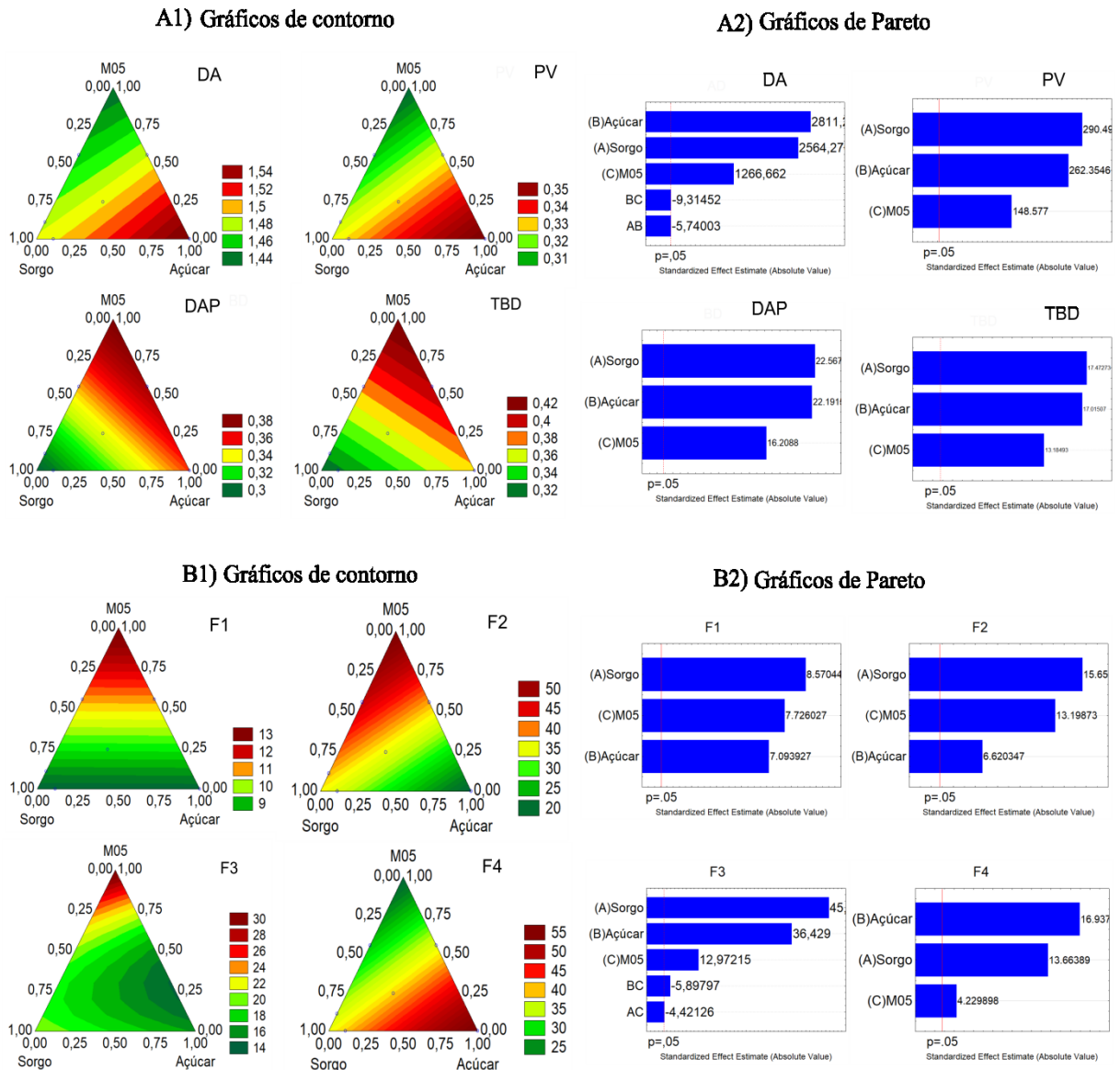
Onde X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub> e X<sub>3</sub> são as proporções de FES, açúcar e maltodextrina, respectivamente. L é linear e Q é quadrático.

Nas Figuras 4 e 5 estão apresentados os gráficos de Pareto e contorno, nos quais é possível observar o efeito de cada ingrediente e a interação entre eles sobre as variáveis respostas. O sorgo ou o açúcar apresentou maior efeito sobre as variáveis respostas. O açúcar teve maior efeito sobre a densidade absoluta, F4 (fração > 850 µm) e sobre as avaliações sensoriais de solubilidade, aceitação global e doçura. A FES teve maior efeito sobre PV, F1, F2 e F3, TD (leite), TD (água) e MB. Nas variáveis respostas DAP e TBD, o efeito do açúcar e da FES foi semelhante e maior que o efeito da maltodextrina.

Em todas as variáveis, nas quais o açúcar apresentou maior efeito comparado aos outros ingredientes, esse efeito foi de caráter positivo, ou seja, o aumento da quantidade de açúcar aumentou a DA, a quantidade de aglomerados acima de 850 µm e as notas de SS, AS e DS.

O aumento do açúcar contribuiu também para aumentar o volume de poros (Figura 4) e reduzir o tempo de dissolução em leite e em água e o tempo de molhabilidade. Os autores Kowalska; Lenart (2005) também observaram a redução no tempo de molhabilidade, quando aumentaram a quantidade de açúcar na solução de revestimento usada da aglomeração de achocolatados em pó.

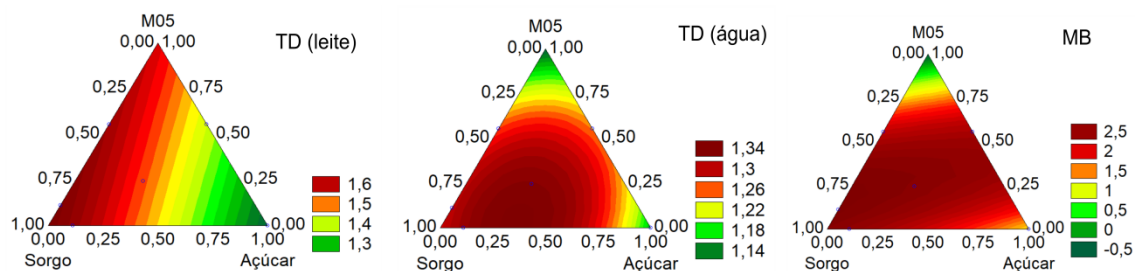
A FES apresentou efeito positivo sobre VP, TD (leite e água) e MB. Enquanto sobre as variáveis F1, F2 e F3 esse efeito foi negativo. Esses resultados permitem sugerir que o aumento da FES junto com o aumento do açúcar contribuiu para a formação de grânulos grandes durante a aglomeração, diminuindo a quantidade de partículas de tamanhos menores, no entanto, essas partículas muito grandes aumentaram o tempo de dissolução e molhabilidade desse produto



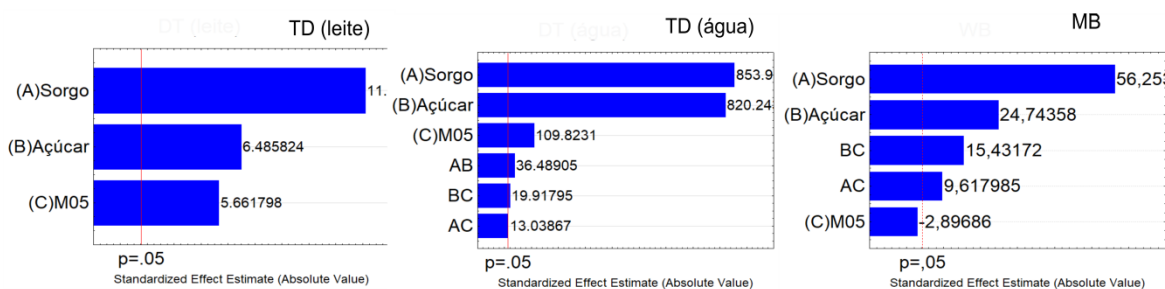
**Figura 4** – Gráficos de contorno e pareto das características físicas referentes às amostras experimentais. A1 e A2) Características de densidade; B1 e B2) Frações granulométricas dos achocolatados (F1, F2, F3, F4).

. Esse aumento nos tempos de dissolução e molhabilidade observados quando aumentada a quantidade de sorgo, pode estar relacionado com seu efeito contrário à densidade aparente. A FES pode ter contribuído para a formação de aglomerados grandes com baixa densidade aparente, porém que dificultavam a dissolução das amostras. Isso pode estar relacionado à alta higroscopicidade de farinhas, devido a sua característica hidrofílica (GALDEANO et al., 2018). Lima et al. (2012) relataram que a farinha de arroz extrudada absorveu mais água do que a farinha crua. Segundo esses autores, o rompimento molecular causado pela extrusão pode expor um maior número de sítios de adsorção. Isso ocorre devido a altas temperaturas, cisalhamento mecânico e ao teor limitado de água, pois promove a quebra do amido. Segundo Palzer (2007), o amido e a farinha, que são parcialmente amorfos e parcialmente cristalinos, têm uma temperatura de transição vítrea alta. Assim, eles apenas contribuem para as forças de adesão em alta umidade. Essa relação direta entre o aumento de FES e o aumento nos tempos de dissolução e molhabilidade podem também estar relacionado aos maiores teores de fibras e proteínas encontrados nessas formulações (Tabela 5).

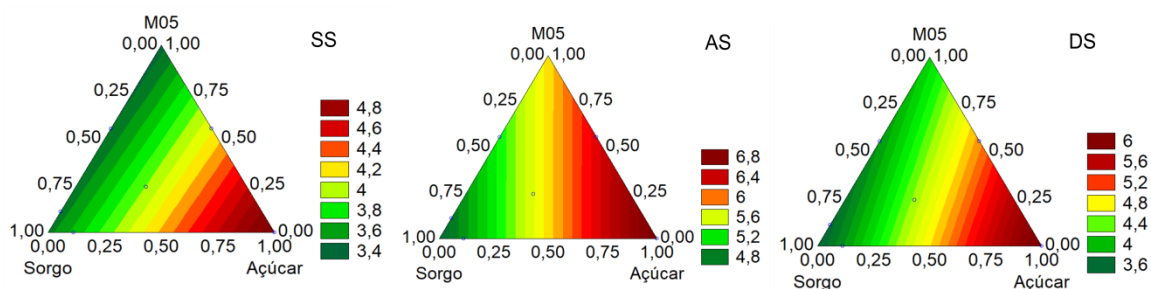
### A1) Gráficos de contorno



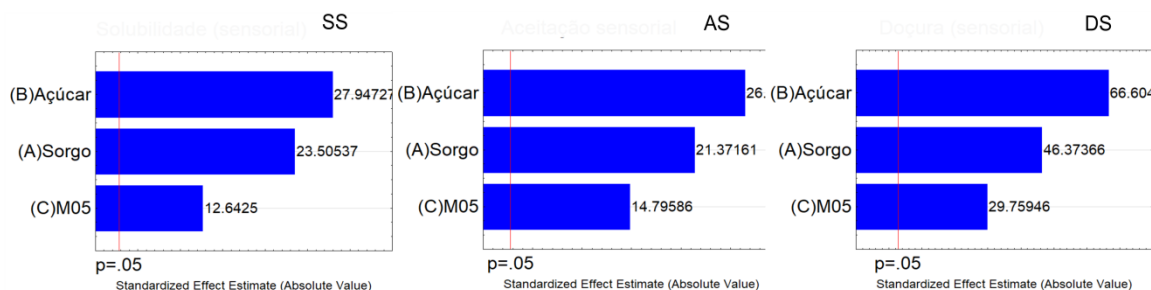
### A2) Gráficos de Pareto



### B1) Gráficos de contorno



### B2) Gráficos de Pareto

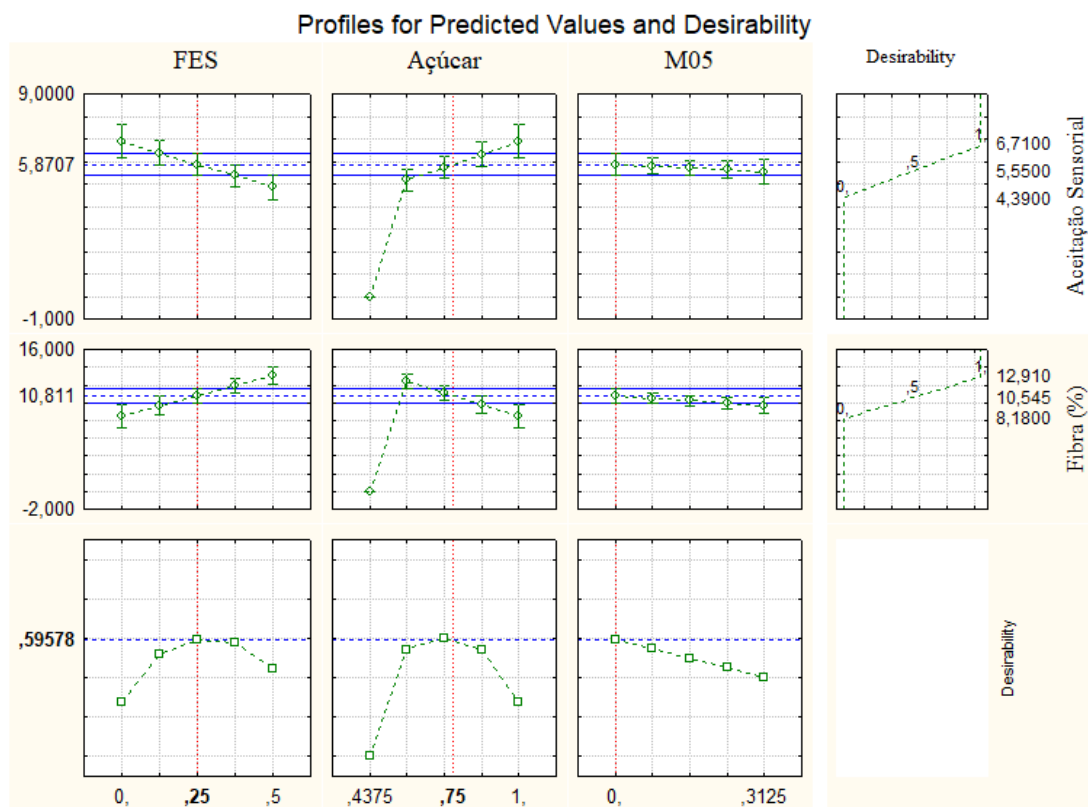


**Figura 5** – Gráficos de contorno e Pareto das referentes às amostras experimentais. A1 e A2) Características de instantaneidade; B1 e B2) Sensorial.

### *Otimização ingredientes por análise estatística de desejabilidade (Desirability)*

A função desejável foi utilizada para otimizar a proporção dos ingredientes em relação à aceitação sensorial e fibra alimentar (Figura 6). A desejabilidade das respostas foi

configurada no máximo (valor igual a 1), e o resultado da função recomendou 25% da FES, 75% de açúcar e 0% de maltodextrina, essa porcentagem corresponde ao percentual no planejamento de misturas que compreende apenas o açúcar, FES e maltodextrina (80% da formulação). Na formulação real, considerando também os outros ingredientes (cacau, aroma e lecitina) essa proporção muda para: 20% da FES e 60% de açúcar. O valor da função desejável foi de 0,59 (esse valor é moderado), por isso, seriam necessários mais testes com essa formulação, incluindo talvez variáveis respostas provenientes de outros métodos analíticos.



**Figura 6** – Gráfico de desejabilidade para otimização da formulação de achocolatado contendo FES.

#### 4 CONCLUSÃO

Com base nos resultados apresentados nesse capítulo, é possível concluir que a proporção de ingredientes afetou as características físicas, químicas e sensoriais de achocolatados. Dentre os ingredientes, o açúcar e a FES apresentaram maior efeito sobre as características físicas e sensoriais comparados à maltodextrina.

O aumento da quantidade de açúcar contribui para formação de aglomerados maiores, no entanto, aglomerados muito grandes acima de 850  $\mu\text{m}$ , assim como as partículas abaixo de 75  $\mu\text{m}$  apresentam maior tempo de dissolução. Além disso, o tempo de dissolução em leite é maior que em água.

Foi constatado também que a maior quantidade de açúcar com a maior quantidade de farinha integral pré-cozida de sorgo contribui para formação de aglomerados maiores com menor densidade e baixa capacidade de dissolução.

A aceitação sensorial de achocolatados com sorgo foi maior que a aceitação de uma das amostras comerciais. Quando a aceitação e o teor de fibra alimentar foram consideradas, aplicando a função desejabilidade, verificou-se que a formulação ótima seria 20% de FES,

60% de açúcar, 0% de maltodextrina, 1,5% de lecitina e 1% de aroma. No entanto, pode-se considerar que maiores teores de açúcar levam a maiores escores de aceitação sensorial.

Apesar disso, a adição de farinha integral pré-cozida de sorgo em achocolatados tem potencial para reduzir o índice glicêmico e a carga glicêmica, sendo o índice glicêmico de achocolatados com sorgo menor que das amostras comerciais. Diante do exposto, conclui-se que a farinha integral extrudada de sorgo apresenta potencial para ser inserida em formulações de achocolatados ou outras bebidas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANUNCIACÃO, P. C. *et al.* Comparing sorghum and wheat whole grain breakfast cereals: Sensorial acceptance and bioactive compound content. **Food Chemistry**, v. 221, n. Supplement C, p. 984-989, 2017. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814616319148>.

ANUNCIACÃO, P. C. *et al.* Consumption of a drink containing extruded sorghum reduces glycaemic response of the subsequent meal. **European Journal of Nutrition**, v. 57, n. 1, p. 251-257, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00394-016-1314-x>.

AOAC. **Official methods of analysis of the Association Analytical Chemists**. Gaithersburg, Maryland: AOAC international, 2005.

AOCS. **AOCS Official Methods, rapid determination of oil/fat utilizing high temperature solvent extraction, method Am 5– 04**: AOCS Urbana, IL 2005.

AUGUSTIN, L. S. *et al.* Glycemic index in chronic disease: a review. **European Journal of Clinical Nutrition**, v. 56, n. 11, p. 1049-1071, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/sj.ejcn.1601454>.

BAJWA, I. S. *et al.* Feature based image classification by using principal component analysis. **ICGST Int. J. Graph. Vis. Image Process. GVIP**, v. 9, p. 11-17, 2009.

BEHALL, K. M.; SCHOLFIELD, D. J. Food Amylose Content Affects Postprandial Glucose and Insulin Responses. **Cereal Chemistry**, v. 82, n. 6, p. 654-659, 2005. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1094/CC-82-0654>.

CHÁVEZ, D. W. H. **Uma metodologia para a classificação de imagens usando análises de componentes principais e clusterização hierárquica**. 2019. 20 Monografia (Pós-graduação Latu sensus ). Departamento de Matemática Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

CUQ, B. *et al.* 7 - Agglomeration/granulation in food powder production. In: BHANDARI, B.; BANSAL, N., *et al.* (Ed.). **Handbook of Food Powders**: Woodhead Publishing, 2013. p.150-177. ISBN 978-0-85709-513-8.

DAS, S. K. *et al.* Long-term effects of 2 energy-restricted diets differing in glycemic load on dietary adherence, body composition, and metabolism in CALERIE: a 1-y randomized controlled trial. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 85, n. 4, p. 1023-1030, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/ajcn/85.4.1023>. Acesso em: 3/5/2020.

EDUARDO, M. D. F.; LANNES, S. C. D. S. Achocolatados: análise química. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, v. 40, p. 405-412, 2004. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1516-93322004000300017&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-93322004000300017&nrm=iso).

ELEAZU, C. O. The concept of low glycemic index and glycemic load foods as panacea for type 2 diabetes mellitus; prospects, challenges and solutions. **African health sciences**, v. 16, n. 2, p. 468-479, 2016.



FERREIRA, F. S. *et al.* Impact of Air Frying on Cholesterol and Fatty Acids Oxidation in Sardines: Protective Effects of Aromatic Herbs. **Journal of Food Science**, v. 82, n. 12, p. 2823-2831, 2017. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/1750-3841.13967>.

FERRER-MAIRAL, A. *et al.* In vitro and in vivo assessment of the glycemic index of bakery products: influence of the reformulation of ingredients. **European Journal of Nutrition**, v. 51, n. 8, p. 947-954, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00394-011-0272-6>.

FITZPATRICK, J. J. *et al.* Investigation of the rehydration behaviour of food powders by comparing the behaviour of twelve powders with different properties. **Powder Technology**, v. 297, p. 340-348, 2016. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032591016302042>.

GALDEANO, M. C. *et al.* Influence of milling and extrusion on the sorption properties of sorghum. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 21, 2018. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1981-67232018000100443&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1981-67232018000100443&nrm=iso).

GOÑI, I.; GARCIA-ALONSO, A.; SAURA-CALIXTO, F. A starch hydrolysis procedure to estimate glycemic index. **Nutrition Research**, v. 17, n. 3, p. 427-437, 1997.

HOGKAMP, S.; SCHUBERT, H.; WOLF, S. Steam jet agglomeration of water soluble material. **Powder Technology**, v. 86, n. 1, p. 49-57, 1996. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0032591095030379>.

KOWALSKA, J.; LENART, A. The influence of ingredients distribution on properties of agglomerated cocoa products. **Journal of Food Engineering**, v. 68, n. 2, p. 155-161, 2005. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877404002687>.

LIMA, C. H. A. M.; ASCHERI, D. P. R.; BASTOS, S. M. C. B. Características de adsorção de água de farinhas cruas e pré-gelatinizadas de duas variedades de arroz de terras altas. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, v. 30, n. 1, 2012.

MORAES, É. A. *et al.* Sorghum flour fractions: Correlations among polysaccharides, phenolic compounds, antioxidant activity and glycemic index. **Food Chemistry**, v. 180, p. 116-123, 2015. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814615001934>.

OMOBUWAJO, T. O.; BUSARI, O. T.; OSEMWEGIE, A. A. Thermal agglomeration of chocolate drink powder. **Journal of Food Engineering**, v. 46, n. 2, p. 73-81, 2000. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877400000674>.

PALZER, S. Chapter 13 Agglomeration of dehydrated consumer foods. In: SALMAN, A. D.; HOUNSLOW, M. J., *et al.* (Ed.). **Handbook of Powder Technology**: Elsevier Science B.V., v.11, 2007. p.591-671. ISBN 0167-3785.

PALZER, S. Influence of material properties on the agglomeration of water-soluble amorphous particles. **Powder Technology**, v. 189, n. 2, p. 318-326, 2009. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032591008002027>.

PALZER, S. Agglomeration of pharmaceutical, detergent, chemical and food powders — Similarities and differences of materials and processes. **Powder Technology**, v. 206, n. 1, p. 2-17, 2011. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032591010002445>.

PIETSCH, W. An interdisciplinary approach to size enlargement by agglomeration. **Powder Technology**, v. 130, n. 1, p. 8-13, 2003. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032591002002188>.

TOVAR, J. In vitro starch hydrolysis index and predicted glycemic index of corn tortilla, black beans (*Phaseolus vulgaris* L.), and Mexican "taco". **Cereal chemistry**, v. v. 80, n. no. 5, p. pp. 533-535-2003 v.80 no.5, 2003.

VARGAS-SOLÓRZANO, J. W. *et al.* Physicochemical properties of expanded extrudates from colored sorghum genotypes. **Food Research International**, v. 55, n. Supplement C, p. 37-44, 2014. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0963996913005711>.

VISSOTTO, F. Z. **Estudo do processo de aglomeração com vapor e perda de qualidade por caking de achocolatados em pó**. 2014. 234 (Doutorado). Faculdade de Engenharia de Alimentos, UNICAMP, Campinas, São Paulo.

VISSOTTO, F. Z. *et al.* Influence of the process parameters and sugar granulometry on cocoa beverage powder steam agglomeration. **Journal of Food Engineering**, v. 97, n. 3, p. 283-291, 2010. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877409005111>.

VISSOTTO, F. Z. *et al.* Avaliação da influência dos processos de lecitinação e de aglomeração nas propriedades físicas de achocolatado em pó. **Ciênc. Tecnol. Aliment**, v. 26, n. 3, p. 666-671, 2006.

WEBB, P. Volume and Density Determinations for Particle Technologists. 2001.

## CONCLUSÕES GERAIS

O sorgo é um cereal com conteúdo substancial de amido resistente, fibras alimentares e outros compostos fenólicos com capacidade antioxidante. Além disso, possui uma grande variedade de genótipos, que são diferentes em relação às suas composições químicas, sabores e efeitos sobre as características de uma bebida solúvel. Essas diferenças entre os genótipos estão correlacionadas com a cor do pericarpo.

A pesquisa também mostrou que há um desconhecimento a respeito desse cereal por parte dos brasileiros e isso foi um dos fatores que contribuiu para baixos escores de aceitação sensorial. Os outros dois fatores que mais afetaram negativamente a aceitação sensorial, tanto das bebidas sem sabor, quanto dos achocolatados formulados, foram o gosto amargo (devido à presença de taninos condensados) e as características de preparo (baixa instantaneidade).

Para melhorar as características de preparo, relacionadas à instantaneidade do produto, foram avaliados diferentes parâmetros da aglomeração, diferentes maltodextrinas e amidos modificados, assim como diferentes formulações. A aglomeração contribuiu para reduzir o tempo de molhabilidade e, portanto, contribuiu para instantaneidade dos achocolatados formulados. Os parâmetros que mais influenciaram nas características do produto foram a vazão de sólidos e a pressão de vapor, sendo uma das melhores combinações desse parâmetro a seguinte: 394g/min de vazão dos sólidos,  $1,6 \times 10^2$  kPa de pressão do vapor e 74 °C de temperatura do secador.

Dentre as diferentes maltodextrinas e amidos modificados avaliados, uma maltodextrina (dextrose equivalente 5) e um amido modificado (mandioca) foram os materiais que proporcionaram melhores características de instantaneidade nos achocolatados. E, portanto, seriam os materiais mais indicados para utilização como ingrediente de achocolatados com sorgo, dentre os materiais estudados nessa tese, nas condições estudadas.

A proporção dos ingredientes afetou a morfologia, características de preparo, a composição centesimal e a aceitação sensorial dos achocolatados aglomerados. Dentre os ingredientes, o açúcar e a FES apresentaram maior efeito sobre as características físicas e sensoriais se comparados à maltodextrina. Maiores teores de açúcar levaram a maiores escores de aceitação sensorial. No entanto, o aumento do açúcar e da farinha integral pré-cozida de sorgo levaram também a obtenção de grânulos aglomerados maiores que apresentaram maior tempo de dissolução, ou seja, menor instantaneidade.

Ao considerar a aceitação sensorial e o teor de fibra alimentar, a formulação ótima encontrada nesse estudo foi: 20% da farinha integral pré-cozida de sorgo, 60% de açúcar, 0% de maltodextrina, 1,5% de lecitina e 1% de aroma.

Quando comparado a um achocolatado comercial formulado com extrato de cereais, os achocolatados formulados com farinha integral pré-cozida de sorgo apresentaram características inferior de instantaneidade. No entanto, eles apresentaram maior aceitação sensorial, menores índice glicêmico e carga glicêmica.

Existe uma demanda de produtos sem glúten e as pessoas com alergias, intolerâncias ou outro tipo de restrição alimentar apresentaram boas expectativas em relação ao sorgo. Diante do exposto, a farinha integral extrudada de sorgo apresenta potencial para ser inserida em formulações de achocolatados ou outras bebidas. Os esclarecimentos sobre esse cereal aos consumidores mostrou ser uma ferramenta para aumentar a aceitação, o que pode ser feito usando campanhas de marketing adequadas, fornecendo informações na embalagem e dentro dos centros de distribuição.

### **SUGESTÕES E RECOMENDAÇÕES**

Considerando os resultados obtidos nesse estudo, trabalhos futuros considerariam estudar diferentes concentrações e tipos de lecitina em achocolatado com farinha de sorgo e de outros cereais. Testar também outros métodos de cozimento do sorgo e avaliar o impacto de cada um sobre as propriedades químicas finais dos achocolatados. Além disso, poderiam avaliar o índice glicêmico *in vivo*, dentre outras características químicas no produto final.