

Desenvolvimento e caracterização de microcápsulas de pericarpo de milho vermelho (*Zea mays* L.)

Development and characterization of microcapsulas of red corn pericarp (*Zea mays* L.)

Desarrollo y caracterización de microcápsulas de pericarp de maíz rojo (*Zea mays* L.)

Recebido: 30/08/2022 | Revisado: 16/09/2022 | Aceitado: 17/09/2022 | Publicado: 24/09/2022

Amanda dos Santos Fernandes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4290-8717>
Universidade Federal da Grande Dourados, Brasil
E-mail: amandafeernandes3@gmail.com

Julia Agra Fiorillo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5870-3743>
Universidade Federal da Grande Dourados, Brasil
E-mail: juliagrafiorillo@hotmail.com

Caroline Pereira Moura Aranha

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6129-6218>
Universidade Federal da Grande Dourados, Brasil
E-mail: CarolineAranha@ufgd.edu.br

Resumo

Para tornar um alimento atrativo as indústrias utilizam corantes, sendo assim, eles são uma das principais classes dos aditivos essenciais para as indústrias alimentícias. Dentro destes podem-se citar as antocianinas como um dos maiores e principais grupos de pigmentos. A microencapsulação é uma tecnologia usada para proteger produtos de interferências como luz e oxigênio, entre outros, onde o encapsulante age como uma camada protetora. Desta forma, o objetivo desse estudo foi obter a composição proximal dos grãos de milho vermelho (*Zea mays* L.), caracterizar o extrato do pericarpo do milho vermelho quanto a atividade antioxidante e obter e caracterizar microcápsulas de extrato do pericarpo do milho vermelho por *spray dryer*, utilizando goma arábica como material de parede. Para isso as microcápsulas foram avaliadas em relação a atividade de água, umidade, rendimento de secagem, solubilidade, molhabilidade, eficiência da encapsulação, retenção de antocianinas, cor e parâmetros de morfologia. Além disso, analisou-se o grão do milho para obtenção da composição centesimal e também se fez a caracterização do extrato do pericarpo do milho vermelho. Como resultado, o pó apresentou baixa umidade e atividade de água, o que é ideal para que um produto tenha vida útil estendida. O rendimento de secagem encontrado foi bem elevado, assim como a solubilidade e a molhabilidade das microcápsulas. Análise de cor apresentou resultados semelhantes para o pericarpo e para as cápsulas ambas tendendo para a coloração vermelha. Desta forma a utilização das microcápsulas de extrato de pericarpo de milho vermelho podem se tornar uma alternativa viável como corante alimentício.

Palavras-chave: Milho crioulo; Antocianinas; Corante natural.

Abstract

In order to produce a food more attractive the food industry utilize dyes, which are one of the major classes of essential additives for food products. Regarding natural dyes, the anthocyanins are the one of the largest and main groups of pigments. Microencapsulation is a technology used to protect products of interest from interference such as light and oxygen, among others, and the encapsulant acts as a protective matrix. Thus, the aim of this study was to obtain the proximal composition of the red corn (*Zea mays* L.) kernels, to characterize the extract of the pericarp of the red corn in relation to the antioxidant activity and to obtain and characterize microcapsules of the pericarp of red corn extract by spray drying using gum arabic as wall material. It was evaluated the microcapsules in relation to water activity, moisture, yield of powder, solubility, wettability, encapsulation efficiency, anthocyanin retention, color and parameters and morphology. In addition, the corn grain was analyzed to obtain the centesimal composition and the characterization of the pericarp extract of red corn was carried out. As results, the powder presented low moisture and water activity, which is ideal for a product to maintain a high shelf life. The yield value was high, as well as the microcapsules solubility and wettability. The analysis of the color showed similar results for pericarp and microcapsules in both cases tending towards to red color. In conclusion, the use of microcapsules produced by red corn pericarp extract may become viable alternative as food natural dye.

Keywords: Creole corn; Anthocyanins; Natural dye.

Resumen

Para hacer que un alimento sea atractivo para las industrias, utilizamos colorantes, que también son las clases principales de dos aditivos esenciales para las industrias alimentarias. Dentro de ellos, las antocianinas se pueden citar como dos grupos principales y principales de pigmentos. Una microencapsulación es una tecnología que se utiliza para proteger productos de interferencias como la luz y el oxígeno, entre otros, onda o encapsulante como capa protectora. Esta forma, u objetivo del estudio, fue obtener una composición proximal de dos granos de mijo (*Zea mays L.*), caracterizar el extracto de pericarpio de mijo por su actividad antioxidante y obtener y caracterizar microcápsulas del extracto de pericarpio de mijo rojo por *spray dryer*, utilizando goma arábiga como material de pared. Para ello, las microcápsulas fueron evaluadas en relación a la actividad de agua, humedad, desempeño de secado, solubilidad, moldeabilidad, eficiencia de encapsulación, retención de antocianinas, parámetros morfológicos. Además, se analiza, o grano de maíz, para obtener la composición próxima y también caracteriza el extracto del pericarpio de maíz rojo. Como resultado, parece tener poca actividad de agua y es ideal para un producto con una vida útil prolongada. El rendimiento en sequedad encontrado fue elevado, así como la solubilidad y capacidad molecular de las microcápsulas. Análisis correspondiente de resultados similares para el pericarpio y las cápsulas, ambos con tendencia al color rojo. Esta forma de utilizar microcápsulas de extracto de pericarpio rojo de maíz puede convertirse en una alternativa viable como colorante alimentario.

Palabras clave: Maíz criollo; Antocianinas; Tinte natural.

1. Introdução

Para um alimento ser atrativo para o consumidor, ele deve ter uma aparência adequada. Por essa razão, a cor é um dos principais atributos sensoriais, sendo determinante para despertar o interesse em determinado produto. Deste modo, os corantes são uma das principais classes dos aditivos essenciais para a indústria de alimentos (Mallmann, 2011).

Os corantes podem ser sintéticos ou naturais, porém os mais utilizados pela indústria alimentícia são os sintéticos. Entretanto, o uso de tal aditivo tem sido alvo de grandes polêmicas quanto a sua inocuidade. Alguns estudos mostram que o uso de corantes sintéticos eleva o risco de pessoas desenvolverem doenças degenerativas (Bluhm *et al.*, 2007; Hartge *et al.*, 1982; Gago-Dominguez, et al., 2001). Sendo assim, o uso de corantes naturais como substitutos dos artificiais tem sido alvo de estudos, por apresentarem ausência de toxidez e não apresentar dano a saúde do consumidor.

Dentre os corantes naturais, as antocianinas é um dos maiores e principais grupos. Elas são pigmentos vegetais responsáveis por uma grande variedade de cores observadas em flores, frutos, algumas folhas, caules, raízes de plantas, que vão desde as tonalidades claras como rosa e vermelho, até tonalidades escuras como roxa, azul e preta (Bobbio & Bobbio, 1995; Gamarra, et al., 2009).

Na natureza é possível encontrar diversas fontes de antocianinas, que vão desde folhas, frutas, talos, até mesmo grãos. Em grãos, as altas concentrações de antocianinas se encontram no pericarpo. Estima-se que a produção mundial de antocianinas derivadas de grãos está em torno de 10.000 toneladas (Tsuda, et al., 1994; Abdel-Aal, et al., 2006).

As antocianinas extraídas de sementes crioulas de milho foram usadas ao longo da história pela civilização Inca no preparo de bebidas e no tingimento de fibras têxteis. Essa civilização obtinha os pigmentos de forma artesanal, utilizando processos mecânicos através de atrito e raspagem da semente (Brack-Egg, 1999; Gamarra, et al., 2009).

Apesar do uso das antocianinas como substituintes dos corantes sintéticos ser de grande interesse, a mesma apresenta uma grande desvantagem frente aos sintéticos, pois elas não são estáveis, e mudam de coloração decorrente de reações químicas durante a vida de prateleira dos produtos alimentícios, pois as antocianinas possuem grupos cromóforos que são muito sensíveis as alterações de pH do meio, oxigênio e a luz (Andersen & Fossen, 1998).

Devido a essa instabilidade das antocianinas, busca-se uma forma de torna-las estáveis por um maior tempo. Uma forma interessante de manter as características por um tempo prolongado é encapsular as antocianinas.

Azeredo (2008) define a encapsulação como um método de empacotamento de partículas em cápsulas comestíveis, onde a capsula que engloba o material de interesse é denominada encapsulante ou material de parede e o material encapsulado como recheio ou núcleo.

A atomização é uma técnica relativamente barata, e a mais utilizada pela indústria de alimentos. É um dos métodos mais antigos de encapsulação, tendo sido usado na década de 1930 para preparar os primeiros compostos de sabor encapsulados (Dziezak, 1988).

Desta forma, o presente trabalho tem por objetivo caracterizar o milho vermelho e o extrato do pericarpo, bem como obter cápsulas de extrato de pericarpo de milho vermelho por *spray dryer*, utilizando goma arábica como material de parede, para a utilização como um corante natural na indústria de alimentos.

2. Metodologia

Os grãos de milho vermelho foram adquiridos na 14^o Feira de Sementes Crioulas realizada no Município de Juti- MS. O pericarpo do milho vermelho foi retirado manualmente dos grãos, em seguida secos em estufa de circulação de ar a 45°C e armazenados em saco de polietileno até o momento das análises.

2.1 Composição proximal e análises físico-químicas dos grãos de milho

As determinações analíticas de umidade, lipídios, cinzas e fibras do grão milho vermelho foram realizadas de acordo com os métodos oficiais da AOAC (2000). A umidade foi determinada em estufa a 105 °C, sendo o resultado expresso em g de água 100 g⁻¹ de milho vermelho. O teor de cinzas (g de cinzas 100 g⁻¹ de milho vermelho) foi determinado por incineração em mufla a 550 °C. O teor de lipídeos totais (g de lipídeos 100 g⁻¹ de milho vermelho) foi obtido através do método de Bligh e Dyer (1959). O teor de fibra bruta foi determinado por meio da dissolução da amostra, sucessivamente em solução ácida e básica em digestor semi industrial (TE- 149-Tecnal). O resíduo não dissolvido constituiu a fibra. As proteínas foram determinadas pelo método de micro *Kjeldahl* descrito pela AOAC (2000), multiplicando o seu resultado e pelo fator de conversão utilizado para alimentos em geral (6,25) e expresso em porcentagem de proteína. Os carboidratos totais foram quantificados por diferença segundo fração nifext.

As análises de pH, atividade de água se deram seguindo a metodologia descrita pela AOAC (2000). A medida de diâmetro foi dada a partir de um paquímetro. A acidez total titulável foi determinada pelo método da titulação volumétrica com indicador.

2.2 Obtenção do extrato do pericarpo do milho vermelho

Os extratos do pericarpo do milho vermelho foram obtidos com uma solução de álcool etílico 70% acidificado com ácido clorídrico 25% até pH 1, na proporção de 1:10 de pericarpo:álcool etílico 70% acidificado em banho-maria a temperatura de 50°C por 2 horas. Em seguida, filtrou-se a mistura e o sobrenadante foi submetido a evaporador rotativo sob pressão reduzida a 60 °C.

2.3 Medida de cor instrumental do extrato do pericarpo do milho vermelho

A cor do extrato do pericarpo de milho vermelho foi avaliada por medidas objetivas em colorímetro (Chroma Meter CR-400, Konica Minolta, Japão) com observador a 10° e iluminante D 65 pelas medidas de transmitância e de luminosidade. Antes de realizar a análise, o equipamento foi calibrado com as cores branco e preto padrão. Nesse sistema, L* representa a luminosidade da cor, com variações desde 0 = preto até o 100 = branco; a* pode ter valores positivos (vermelho) ou negativos (verde) e b* pode ter valores positivos (amarelo) ou negativos (azul). Foi calculado o ângulo de tonalidade cromática (h) e a saturação da cor (C).

2.4 Caracterização do extrato do pericarpo do milho vermelho

A quantificação de compostos fenólicos totais foi determinada por espectrofotometria, utilizando reagente de Folin-Ciocalteu, segundo a metodologia descrita por Singleton e Rossi (1965). Nesse procedimento, pipetou-se 100 μL da solução de extrato natural em tubos de ensaio e adicionou-se 500 μL do reagente Folin-Ciocalteu. Em seguida, adicionou-se 1,5 mL de solução saturada de carbonato de sódio 20% e 6 mL de água destilada. Essa mistura permaneceu em repouso por 2 horas em temperatura ambiente e a absorbância foi determinada a 765 nm. Os valores de fenólicos totais foram encontrados através da curva padrão de ácido gálico e o resultado expresso como equivalentes de ácido gálico (mg de equivalente de ácido gálico g^{-1} de amostra).

A medida da capacidade de sequestrar radicais livres (DPPH) foi baseada no procedimento de Brand-Williams, et al., (1995), sendo preparada a solução metanólica com concentração de 250, 500 e 750 $\mu\text{g mL}^{-1}$ de extrato. Cada amostra desta solução (0,1 mL) foi adicionada a 3,9 mL de solução de DPPH (40 $\mu\text{g mL}^{-1}$) em diferentes concentrações (5; 10; 25; 50; 125 e 250 $\mu\text{g mL}^{-1}$). Um controle foi feito com 3,9 mL de DPPH e 0,1 mL de metanol. Utilizou-se álcool metílico como branco para calibrar o espectrofotômetro. As leituras foram realizadas em um comprimento de onda de 515 nm, e foram monitoradas a cada minuto até que fosse observada redução da absorbância até sua estabilização. Para os cálculos, foi substituído o valor correspondente à metade da absorbância inicial do controle pelo y da equação da curva do DPPH para encontrar o consumo em μM DPPH e, em seguida, transformou-se para g DPPH. A partir das absorbâncias obtidas das diferentes diluições dos extratos, foi plotado a absorbância no eixo y e diluição (mg L^{-1}) no eixo x e, determinou-se a equação da reta e então determinou o EC_{50} . A partir do resultado de EC_{50} (mg L^{-1}), o valor foi dividido por 1.000 para se ter o valor em g. Posteriormente, esse valor foi dividido pelo valor encontrado em g DPPH para obtenção do resultado final que foi expresso em g^{-1} DPPH.

A determinação do teor de antocianinas foi realizada através do método de pH diferencial descrita por Giusti e Wrolstad (2001) com modificações. Utilizou-se dois sistemas tampão: ácido clorídrico/ cloreto de potássio pH 1,0 (0,025 M) e ácido clorídrico/ acetato de sódio pH 4,5 (0,4 M). Com 0,2 mL de uma amostra diluída de extrato (para conseguir uma absorbância na faixa de 0,10-1,2 a 510 nm) adicionou-se 1,8 mL da correspondente solução tampão e mediu-se a absorbância frente a um branco (solução tampão sem amostra) a 510 nm e 700 nm. O resultado da quantificação foi expresso em equivalente da antocianina principal, cianidina-3- glucosídeo.

2.5 Produção de microcápsulas

O material a ser encapsulado foi o extrato do pericarpo de milho vermelho, e o material encapsulante utilizado foi a goma arábica em pó pura CAS [9000-01-5]. Para a encapsulação utilizou-se uma solução de 35% como concentração total do agente carreador. O material de parede foi dissolvido em água destilada à temperatura ambiente e misturado com o auxílio de um bastão de vidro até sua completa dissolução. Após a dissolução, a suspensão foi reservada à 10°C por 24h a fim de garantir a completa hidratação do polímero. Após esse tempo, adicionou-se o extrato do pericarpo do milho vermelho à suspensão em uma proporção de 5%, sendo homogeneizado com auxílio de mixer por 5 minutos.

O material encapsulado foi seco em *spray dryer* (LM MSD 1.0), com bico atomizador tipo duplo fluido. As condições operacionais de secagem foram fixas onde: temperatura do ar de secagem de entrada 180°C e saída 120°C; pressão de atomização: 3 a 7 bar; vazão média do ar de secagem: 0,70 a 1,95 m^3/min ; vazão média de alimentação: 0.20 L/h. As microcápsulas produzidas foram acondicionadas em embalagens de polietileno seladas, protegidas da luz e armazenadas em dessecador com sílica gel para não absorver umidade do ambiente.

2.6 Caracterização das microcápsulas

As microcápsulas de extrato do pericarpo do milho vermelho foram submetidas a análises de atividade de água,

umidade, rendimento de secagem, solubilidade, molhabilidade, eficiência da encapsulação, retenção de antocianinas, cor instrumental e morfologia.

A atividade de água (A_w) das microcápsulas foi realizada em triplicata utilizando o equipamento AquaLab CX-2- série 3.

O conteúdo de umidade das microcápsulas foi determinado por meio do método gravimétrico, em estufa com circulação e renovação de ar, à temperatura de 105 °C (AOAC, 2000).

O rendimento de secagem foi calculado segundo Souza (2013), pela relação entre a massa seca de pó obtida e a massa de sólidos totais contidos na dispersão que alimentava o *spray dryer*, expresso em porcentagem (%).

A solubilidade das microcápsulas foi determinada de acordo com o método proposto por Cano-Chauca, et al., (2005), onde 1 g de amostra foi adicionado a 100 mL de água destilada e agitada por 5 minutos. A solução foi centrifugada a 3000×g por 5 minutos. Transferiu-se uma alíquota de 20 mL do sobrenadante para placa de Petri previamente tarada sendo, em seguida, aquecida em estufa a 105 °C por 5 horas. A porcentagem de solubilidade foi calculada por diferença de peso.

A molhabilidade das microcápsulas foi determinada pelo método descrito por Fuchs *et al.* (2006). Um grama do pó foi polvilhado sobre a superfície de 100 mL de água destilada a temperatura ambiente (20°C) sem agitação. O tempo necessário para as microcápsulas sedimentarem ou submergirem e desaparecerem da superfície da água foi medido através de um cronômetro digital.

Foi considerada como eficiência da encapsulação a relação da quantidade de antocianinas contidas no interior e exterior das cápsulas. Para avaliar o conteúdo de antocianinas no exterior das cápsulas utilizou-se a metodologia descrita por Tosoni e Rodrigues (2013), em que 0,5 g de pericarpo de milho vermelho encapsulado foi dissolvido em 20 mL de etanol absoluto P.A. em tubos falcon. Posteriormente, os tubos foram colocados em banho ultrassônico por 15 minutos seguido de centrifugação a 3000 rpm por 5 minutos. O sobrenadante resultante foi utilizado na execução da análise de antocianinas. Para a realização da análise de concentração total de antocianinas nas cápsulas, executou-se a ruptura das cápsulas, segundo Souza (2013), onde, em tubos falcon, 0,5 g de cada amostra em pó foi diluída com 20 mL de solução de metanol 80% acidificado (ácido clorídrico 0,2%), facilitando a separação dos agentes encapsulantes e extração dos compostos. Após os tubos foram depositados em banho ultrassônico por 15 minutos seguido de centrifugação a 3000 rpm por 5 minutos. O sobrenadante resultante foi utilizado na execução das análises de antocianinas. A eficiência da encapsulação (EE) foi calculada e expressa em porcentagem (%).

Para expressar a retenção de antocianinas (RT), iniciou-se determinando a quantidade de antocianinas presentes no pericarpo do milho vermelho, seguindo a metodologia descrita na determinação de teor de antocianinas. A retenção foi expressa em porcentagem, relacionando a quantidade de antocianinas contidas no pó e a quantidade inicial contida na solução, antes da operação de secagem

A cor instrumental das microcápsulas do extrato do pericarpo de milho vermelho foi realizada conforme o item medida de cor do extrato do pericarpo do milho vermelho.

A morfologia foi realizada a partir das micropartículas secas, utilizou-se um microscópio ótico Olympus CX31 com CMOS câmera colorida SC30 munido do software AnalySIS getIT para obtenção das imagens.

3. Resultados e Discussão

3.1 Caracterização dos grãos de milho vermelho

Os resultados encontrados das análises da composição proximal dos grãos de milho vermelho são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1. Composição proximal de grãos de milho vermelho.

Análises	Resultado g.100g ⁻¹
Umidade	11,31 ± 0,09
Proteínas	9,34 ± 0,13
Lipídeos	4,13 ± 0,44
Fibras	2,58 ± 0,47
Cinzas	1,12 ± 0,04
Carboidratos	71,52 ± 0,20

Fonte: Autores.

De acordo com a Tabela 1, a umidade dos grãos de milho vermelho obteve um valor próximo com os resultados do estudo de Gamarra, et al., (2009), que ao estudar sobre sementes crioulas de milho vermelho e roxo, encontrou um valor médio de 14,34% em lotes contendo ambos os grãos. Em seu estudo, Stefanello (2014) encontrou valores para as variedades de milho crioulas oito carreiras e lombo baio, onde apresentaram um teor de umidade de 13% e a variedade cabo roxo de 14%. Tais valores diferem do resultado encontrado neste trabalho, essa diferença pode ser explicada por vários fatores, como questões de localização de cultivo, tipo de variedade, clima, entre outros.

O teor de lipídeos encontrado se aproxima ao encontrado por Steinmacher (2005) para a variedade de milho crioulo roxo de 4,87 g.100g⁻¹. Na literatura encontra-se valores de lipídeos para outras variedades de sementes crioulas, como a Lombo Baio 6,13% e Oito carreiras 5,93% (Stefanello, 2014). De acordo com Paes (2011), o percentual de lipídios presentes na semente de milho é, em média, 4,5%.

O teor de proteínas encontrado nas sementes de milho vermelho foi aproximado ao de algumas variedades de milhos crioulos estudadas por outros pesquisadores. Steinmacher (2005), encontrou valores de proteínas em g.100g⁻¹, para as variedades Rosado, Roxo e Pixurum 05 de 11,33, 11,01 e 9,1, respectivamente. Para as variedades Cabo Roxo encontrou-se um valor de proteínas de 10,51%, para a Oito carreiras 10,25% e Lombo Baio de 9,64% (Stefanello, 2014). De acordo com Carvalho e Nakagawa (2012), o teor e a composição de proteínas variam em função das condições do ambiente e das técnicas de cultivo que afetam o estado nutricional das plantas (adubação nitrogenada). O nitrogênio fornecido de forma adequada em condições favoráveis para o crescimento das plantas propicia um aumento na produção do teor de proteína (Havlin, et al., 2005).

O valor encontrado para teor de fibras dos grãos de milho vermelho é parecido com o encontrado por Gamarra, et al., (2009), onde ao analisar grãos de milhos crioulos das variedades roxo e vermelho encontrou um teor de fibras de 3%. De acordo com Picolli e Ciocca (1997) e Gutkoski e Trombetta (1998), os teores de fibras variam com o cultivo, condições de desenvolvimento, práticas culturais e tamanho da semente.

Em relação ao teor de carboidratos, tal valor encontrado está bem acima do valor encontrado por Gamarra, et al., (2009), que ao estudar milho vermelho e roxo encontrou um teor de carboidratos de 51,78%. Na literatura encontra-se outros valores para teor de carboidratos não fibrosos. Stefanello (2014) encontrou teores de carboidratos para diferentes variedades de milho crioulo, para a variedade Oito carreiras 63,8%, Cabo Roxo 62,9%, Lombo Baio 65,9 e para a variedade Híbrido S-395 71,2%. De acordo com Paes (2006), o milho é especialmente rico em carboidratos, essencialmente o amido, o que o caracteriza como alimento energético, sendo que essa fração corresponde, em média, a 72% das sementes.

Em relação a conteúdo mineral ou cinzas, o valor encontrado neste trabalho assemelha-se aos valores encontrados por Gamarra, et al., (2009) de teor de minerais ao estudar variedades de milho crioulo vermelha e roxa, sendo para lotes com ambas as variedades foi de 1,00%. Em outros trabalhos encontrados na literatura, o teor de minerais determinados em sementes de milho crioulas foi de 1,56% (Lucchin, et al., 2003). Por outro lado, Gonçalves *et al.* (2003) encontrou valores de cinzas em

híbridos de milho uma média de 1,27% e Bressani, et al., (1990) obtiveram resultados de resíduo mineral em uma faixa de 1,10 a 1,40%.

Para as análises físico-químicas dos grãos de milho vermelho, os resultados estão expressos na Tabela 2.

Tabela 2. Caracterização física de grãos de milho vermelho.

Análises	Resultados
pH	6,67 ± 0,03
Atividade de água	0,536 ± 0,008
Acidez total titulável (g _{ac} .100g ⁻¹)	0,005 ± 0,0005
Diâmetro (mm)	10,91 ± 0,62

Fonte: Autores.

O valor encontrado para pH assemelha-se ao encontrado por Gamarra, et al., (2009) que ao estudarem sobre sementes crioulas de milho encontrou um valor de 5,83 para pH. A pouca diferença entre os resultados podem ser explicados porque em seu estudo, os autores analisaram duas variedades de milho, a roxa e a vermelha, enquanto nesse estudo foi analisado apenas a variedade crioula de milho vermelha.

Em relação a atividade de água e acidez total titulável, não foi possível encontrar na literatura valores para essas análises de milhos crioulos já que esse tipo de material é pouco estudado. Pode-se salientar, que a atividade de água é um fator importante para a qualidade de um grão, valores elevados de atividade de água significam que o meio é propício para o crescimento e multiplicação de microrganismos.

Para a análise de diâmetro o valor encontrado foi próximo ao valor encontrado por Gamarra, et al., (2009), onde em um estudo sobre variedades crioulas de milho vermelho e roxo os autores encontraram um valor de diâmetro de 10,51 mm.

3.2 Caracterização do extrato do pericarpo do milho vermelho

Os compostos fenólicos são substâncias amplamente distribuídas na natureza, mais de 8000 compostos fenólicos já foram detectados em plantas. Eles podem ser pigmentos, que dão a aparência colorida aos alimentos, ou produtos do metabolismo secundário. Esses compostos agem como antioxidantes, não somente pela sua habilidade em doar hidrogênio ou elétrons, mas também em virtude de seus radicais intermediários estáveis, que impedem a oxidação de vários ingredientes do alimento, particularmente de lipídios (Brand-Williams, et al., 1995).

O resultado encontrado para compostos fenólicos no presente trabalho foi de 86,33 mg EAG. 100g⁻¹. Barbosa (2016) ao estudar diferentes genótipos de milho roxo encontrou resultados de compostos fenólicos totais para as variedades TO 002, ES 0,06, RO 013 e BAG 0661 de 959,6, 860,8, 756,3 e 690 mg EAG. 100mg⁻¹, respectivamente. A concentração de fenólicos totais e antocianinas em grãos de milho de coloração vermelha, roxa e preta está correlacionada com a diferença total da cor, sendo grãos mais escuro aqueles com maior concentração de fenólicos (Aguayo-rojas *et al.*, 2012; Hu & Xu, 2011). Outros fatores que podem influenciar na determinação de compostos fenólicos totais são, condições climáticas ou biológicas e local de cultivo do grão.

O potencial antioxidante expresso em EC₅₀ demonstrou a quantidade do extrato do pericarpo do milho vermelho necessário para reduzir em 50% a ação do radical DPPH. Valores de EC₅₀ baixos indicam um potencial antioxidante maior. O valor encontrado foi de 0,07 g de extrato. g⁻¹ DPPH. Em seu estudo, Mex-Alvarez, et al., (2013) encontrou valores de EC₅₀ para o milho vermelho de 28,8 mg. L⁻¹ e para o milho roxo 17,3 mg. L⁻¹. Enquanto Salinas-Moreno, et al., (2012) encontrou valores de EC₅₀ para o extrato de estigma de milho vermelho de 51, 76 µg.mL⁻¹, ou seja, são necessários 51,76 microgramas de extrato

para alcançar 50% de inibição dos radicais livres.

Para o extrato do pericarpo de milho vermelho encontrou-se um teor de antocianinas totais de $6,01 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$. Em seu estudo Gamarra, et al., (2009) encontrou valores muito superiores ao encontrado neste presente trabalho. Em seu estudo, o autor fez a quantificação de conteúdo total de antocianinas (CTA) por diferentes metodologias, e encontrando valores de CTA de $194 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$ por imersão em metanol, $137 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$ por lixiviação e $83 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$ pela metodologia de extração supercrítica para extrato de pericarpo de milho vermelho. Tal diferença de valores pode ser explicada principalmente pela forma de extração das antocianinas. Para cada metodologia usada pelo autor citado, existe uma grande tecnologia aplicada, sendo controlada várias variáveis como temperatura, pH, pressão, entre outras. Além disso outros fatores podem interferir na quantidade de antocianinas presentes no grão uma vez que são sensíveis a luz, temperatura, oxigênio. Pode ter ocorrido a degradação das antocianinas presentes no pericarpo do milho vermelho, interferindo na quantificação dos pigmentos presentes na amostra pela exposição aos fatores supracitados durante o armazenamento.

3.3 Caracterização das microcápsulas

Os grãos de milho vermelho, o pericarpo e as cápsulas do extrato do milho estão apresentados na Figura 1.

Figura 1. Imagens dos diferentes estágios do milho durante o trabalho.



Fonte: Autores.

(a) grão inteiro do milho vermelho; (b) pericarpo do milho vermelho; (c) cápsulas do extrato do pericarpo do milho vermelho obtidas no *spray dryer*. Fonte: autor.

Os resultados obtidos na caracterização das microcápsulas são apresentados na Tabela 3.

A atividade de água (A_w) é um dos parâmetros mais importantes para a estabilidade química, microbiológica e vida comercial dos alimentos, pois é a medida do grau em que a água está ligada ao alimento e está indisponível para a atividade química e microbiológica (Rahman & Labuza, 2007). No presente estudo encontrou-se um valor de 0,32 de atividade de água. Em relação a umidade encontrou-se valores de $6 \text{ g} \cdot 100\text{g}^{-1}$. Carvalho (2017) em seu estudo encontrou valores de atividade de água de 0,253 e umidade 3,68% usando como material de parede goma arábica ao encapsular extrato de polpa de juçara. Em outro estudo sobre encapsulação de própolis o autor encontrou valores para a matriz de goma arábica umidade de 5,63 e atividade de água de 0,36 (Tosoni & Rodrigues, 2013).

Tabela 3. Caracterização das microcápsulas do extrato de pericarpo de milho vermelho em matriz de goma arábica.

Análise	Resultado
Atividade de água	0,32±0,001
Umidade g.100g ⁻¹	6,00±0,01
Rendimento (%)	62,97
Solubilidade (%)	81,07±0,2
Molhabilidade (s)	662±77,07

Fonte: Autores.

Tanto a umidade quanto a atividade de água são parâmetros importantes para o estudo da deterioração de um produto. De acordo com Masters (1985), a umidade não deve apresentar valores maiores que 5% para garantir um prolongamento maior da vida útil do produto. Para tanto, a determinação da atividade de água, ou seja, a intensidade com a qual a água está associada com os constituintes da fase não aquosa, apresenta uma importante relação com os possíveis processos de degradação ocasionados pelo crescimento de microrganismos e reações químicas (Reid & Fennema, 2008). Em atividade de água abaixo de 0,6, quase todos os microrganismos têm seu crescimento inibido.

Para o resultado de rendimento utilizando goma arábica como material de parede, encontrou-se um valor de 62,97% sendo superior a outros estudos utilizando o mesmo material de parede. Tosoni e Rodrigues (2013) encontraram valores de rendimento de 42,83 % para encapsulação de própolis usando goma arábica como material de parede. Pante (2014) encontrou valor de 32,09% de rendimento ao analisar polpa de amora preta e como encapsulante goma arábica.

Segundo Goula (2005) o rendimento pode ser influenciado pelas condições de secagem no *spray dryer*, como temperatura do ar de secagem de entrada, concentração dos compostos de interesse e tipo de agente encapsulante, vazão da alimentação da mistura, vazão de ar comprimido e vazão do ar de secagem.

A solubilidade de pós é uma característica muito importante pois ela está relacionada a dispersibilidade e propriedades de reconstituição e ressalta o bom resultado na escolha do material de parede (Costa, 2013).

Observando os dados da Tabela 3, o valor encontrado para solubilidade foi de 81,07% para microcápsulas de extrato de pericarpo de milho vermelho. Tosoni e Rodrigues (2013) encontram valor parecido (86%) ao encapsular própolis usando goma arábica como material de parede. Oliveira, et al., (2013) encontrou valor de 87,15% para solubilidade de polpa de morango atomizada utilizando goma arábica. Tonon, et al., (2013) ao microencapsular açaí encontrou um valor de solubilidade de 94,78% utilizando a mesma matriz encapsulante. Já Felix (2014) encontrou valor de 49,57% para solubilidade de cápsulas de óleo essencial de canela com goma arábica de material de parede. Pode-se observar com esses dados que o núcleo da capsula pode interferir diretamente na solubilidade do pó em água, se for um material hidrofóbico, a tendência da solubilidade é baixa.

A molhabilidade é um fator muito importante para o estudo de microencapsulados pois é este parâmetro que indica o tempo de reconstituição dessa microcápsula em água. Neste estudo o resultado encontrado para molhabilidade foi de 662 segundos. Em seu trabalho Catelam (2013) encontrou valor para molhabilidade de polpa de maracujá com leite desnatado usando goma arábica como material de parede de 470 segundos.

Bae e Lee (2008) citaram que uma possibilidade de tempos elevados para molhabilidade pode estar relacionado com o material hidrofóbico na superfície das partículas o que dificultaria penetração da água na partícula.

Processos de microencapsulação utilizando secagem por atomização com temperaturas de entrada de ar muito elevadas podem causar a formação de uma camada rígida, dificultando a difusão de água pelo material de parede, reduzindo assim a molhabilidade (Chegini & Ghobadian, 2007). Outro motivo que explica os altos valores de molhabilidade no ensaio utilizando goma arábica na secagem por atomização é o fato do tamanho das partículas serem pequenas, o que reduz a formação de

interstícios na sua estrutura, acarretando um tempo maior de molhabilidade (Vissoto, et al., 2006).

A Tabela 4 mostra os resultados obtidos para a eficiência de encapsulação e retenção de antocianinas das cápsulas com o extrato de pericarpo de milho vermelho em matriz de goma arábica.

Tabela 4. Eficiência da Encapsulação (%) e Retenção de Antocianinas (%) das cápsulas de extrato de pericarpo de milho vermelho em matriz de goma arábica.

Análise	Resultado (%)
Eficiência de encapsulação (EE)	62,5
Retenção de antocianinas (RT)	21,92

Fonte: Autores.

A eficiência de encapsulação mostra a quantidade de antocianinas que estão efetivamente encapsulados, ou seja, as antocianinas que estão protegidos pela matriz encapsulante descontando as que se encontram na superfície da partícula, enquanto que na retenção de antocianinas avalia-se a quantidade de antocianinas presentes na partícula, independente da sua localização, podendo estar na superfície da cápsula ou no seu interior. A eficiência depende, dentre outros fatores, da afinidade entre o material de parede e a substância a ser encapsulada. Em seu trabalho Rosa (2012) encontrou um valor de 52% de eficiência de encapsulação usando goma arábica ao encapsular extrato fenólico de amora preta com β -ciclodextrina e hidrogel.

Jafari, et al., (2008) citaram que a eficiência de encapsulação é um dos parâmetros mais importantes nos processos de microencapsulação, pois é a partir deste parâmetro observa-se a quantidade de material ficou retido no núcleo e o quanto foi perdido no processo.

A Tabela 5 apresenta os parâmetros de cor para o pericarpo do milho vermelho e das microcápsulas em matriz de goma arábica.

Tabela 5. Parâmetros de cor a^* , b^* , L^* , C e h para o pericarpo do milho vermelho (PMV) e para as microcápsulas em matriz de goma arábica (GA).

Teste	a^*	b^*	L^*	C	h
PMV	14,86 \pm 0,58	6,25 \pm 0,54	41,94 \pm 0,72	16,2 \pm 0,72	22,77 \pm 1,13
GA	12,36 \pm 0,16	12,16 \pm 0,18	51,75 \pm 1,75	17,34 \pm 0,13	44,54 \pm 0,65

Legenda = L^* luminosidade; a^* (+) vermelho/ (-) verde; b^* (+) amarelo/ (-) azul; C saturação da cor; h ângulo de tonalidade cromática. Fonte: Autores.

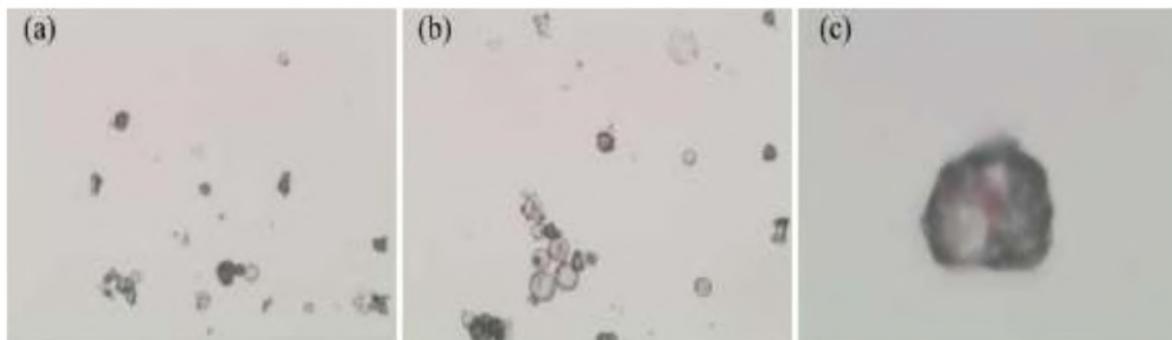
O parâmetro a^* apresentou valores positivos para ambos os testes, onde estes tendem para a cor vermelha, esses valores são esperados já que as amostras são provenientes de milho vermelho, cujo pigmento predominante são as antocianinas, responsável pela coloração vermelha, azul e violeta em diferentes frutos e flores. Para a coordenada b^* os valores também deram positivo, tendendo assim para a cor amarela.

A partir da Tabela 5, é possível notar que o material de parede interferiu na coloração. Observa-se um aumento no parâmetro b^* e uma diminuição no parâmetro a^* comparando o pericarpo do milho vermelho com as microcápsulas. Isso se deve a coloração do material de parede, já que a goma arábica apresenta uma coloração levemente amarelada. Sendo assim, as microcápsulas apresentaram um valor maior para a coordenada b^* tendendo mais para o amarelo. Quanto a Luminosidade (L^*) pode-se observar que em relação ao pericarpo a coloração foi mais escura, e as microcápsulas o valor encontrado tendeu para a coloração mais clara, devido a coloração do material de parede.

Em um estudo realizado por Pinto (2009) com diferentes variedades de milho crioulo, o mesmo obteve para as variedades avermelhadas menores valores de L^* quando comparados com variedades de Milho branco, que apresentaram maiores resultados de luminosidade, já que o parâmetro L^* identifica maiores valores quanto mais claros os grãos.

A morfologia das cápsulas do extrato de pericarpo de milho vermelho obtidas por microscopia ótica se encontra na Figura 2.

Figura 2. Imagens obtidas por microscopia ótica das cápsulas de extrato de pericarpo de milho vermelho na matriz de goma arábica nas lentes de aumento de (a) 4x; (b) 10x; (c) 40x.



Fonte: Autores.

As cápsulas foram observadas por microscopia ótica, a fim de constatar a formação das micropartículas e avaliar o seu formato.

A partir da Figura 2 é possível observar que as partículas apresentam formato esférico na sua grande maioria e com bordas irregulares e paredes finas. Pode-se notar também que algumas cápsulas apresentam forma de cristal.

As microcápsulas são pequenas esferas de tamanho variável entre 1 e 100 μm . Na verdade, esta variação pode estar associada aos materiais e métodos escolhidos, assim, dependendo das propriedades físico-químicas do núcleo, da composição da parede e da técnica de microencapsulação, pode-se obter diferentes tipos de partículas (Garcia, 2016).

4. Conclusão

Em relação a composição proximal o milho vermelho apresentou quantidades importantes de carboidratos e proteínas, além disso extrato do pericarpo do milho vermelho possui potencial antioxidante pelos resultados de compostos fenólicos totais, antocianinas totais e EC_{50} .

Os valores de umidade e atividade de água das microcápsulas foram baixos, o que é ideal para a conservação do produto. O rendimento de secagem foi elevado, mostrando assim que a goma arábica pode ser excelente escolha para microencapsulação em *spray dryer*. Além disso este material de parede fornece uma solubilidade alta para as cápsulas. A cor das cápsulas indica uma tendência para o vermelho. Sendo assim, os resultados obtidos indicam a possibilidade de utilização das microcápsulas como um corante natural em produtos alimentícios, além de iniciar estudos empregando sementes crioulas na utilização de corantes naturais em decorrência de sua coloração intensa.

Posteriormente seria de grande importância avaliar a estabilidade do corante de milho vermelho em matrizes alimentícias, como iogurtes, bebidas lácteas, sobremesas, produtos cárneos e outros.

Referências

- Abdel-Aal, E. S. M., Young, C. H., & Rabalski, I. (2006). Anthocyanin composition in black, blue, pink, purple, and red cereal grains. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54 (13), 4696–4704. <https://doi.org/10.1021/jf0606609>
- Aguayo-Rojas, J., Mora-Rochín, S., Cuevas-Rodríguez, E. O., Serna-Saldívar, S. O., Gutierrez-Urbe, J. A., Reyes-Moreno, C., & Milán-Carrillo, J. (2012). Phytochemicals and antioxidant capacity of tortillas obtained after lime-cooking extrusion process of whole pigmented mexican maize. *Plant Foods for Human Nutrition*, 67 (2), 178-185.
- Andersen, O.M., & Fossen, T. (1995). Anthocyanins with an unusual acylation pattern from stem of *allium victorialis*. *Phytochemistry*, 40 (6), 1809-1812. [https://doi.org/10.1016/0031-9422\(95\)90025-Q](https://doi.org/10.1016/0031-9422(95)90025-Q)
- AOAC. (2000). Official methods of analysis of the Association of the Analytical Chemists. (17th ed.) *Association of Official Analytical Chemists (AOAC)*. Virginia, EUA.
- Azeredo, H. M. C. (2008). Encapsulação: aplicação à tecnologia de alimentos. *Alimentos e Nutrição*, 16 (1), 89-97.
- Bae, E. K., & Lee, S. J. (2008). Microencapsulation of avocado oil by spray drying using whey protein and maltodextrin. *Journal of Microencapsulation*, 25 (8), 549-560. <https://doi.org/10.1080/02652040802075682>
- Barbosa, N. A. (2016). *Caracterização de compostos bioativos em germoplasma de milho e aplicação em biopolímeros alimentícios*. Tese de doutorado, Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, Brasil.
- Bligh, E. G., & Dyer, W. J. (1959). A rapid method of total lipid extraction and purification. *Canadian Journal of Biochemistry and Physiology*, 37 (8), 911-917. <https://doi.org/10.1139/o59-099>
- Bluhm, E. C., Zahm, S. H., Fine, H. A., Black, P. M., Loeffler, J. S., Shapiro, W. R., Selker, R. G., & Inskip, P. D. (2007). Personal hair dye use and risks of glioma, meningioma, and acoustic neuroma among adults. *American Journal of Epidemiology*, 165 (1), 63–71. <https://doi.org/10.1093/aje/kwk002>
- Bobbio, P. A., & Bobbio, F. O. (1995). Pigmentos naturais. In: Bobbio, P. A.; Bobbio, F. O. (Ed.). *Introdução à Química de Alimentos*. (2^a ed.): Varela, 6, p.191-223.
- Brack-Egg, A. (1999). *zea mays*, L. In: Brack-Egg, A. (Ed.). *Diccionario enciclopédico de plantas útiles del Peru*. (1^a ed. p. 537-538). Cuzco, Perú: Imprenta-Editorial del Centro Bartolomé de Las Casas.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *Food Science and Technology*, 28 (1), 25-30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)
- Bressani, R., Benavides, V., Acevedo, E., & Ortiz, M. A. (1990). Changes in Selected Nutrient Contents and in Protein Quality of Common and Quality-Protein Maize During Rural Tortilla Preparation. *Cereal Chemistry*, 67 (6), 515-518.
- Cano-Chauca, M., Stringheta, P. C., Ramos, A. M., & Cal-Vidal, J. (2005). Effect of the carriers on the microstructure of mango powder spray drying and its functional. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 6 (4), 420-428. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2005.05.003>
- Carvalho, A. G. S. (2017). *Estudo da inclusão de antocianinas de extrato da polpa de juçara (euterpe edulis Martius) em partículas produzidas por spray drying e gelificação iônica*. Tese de doutorado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, Brasil.
- Carvalho, N. M., & Nakagawa, J. (2012). Vigor de sementes. In: Carvalho, N. M., Nakagawa, J. (Ed.). *Sementes: ciência, tecnologia e produção*. (5^a ed.): FUNEP, p. 590.
- Catelam, K. T. (2010). Estudo da influência da proporção de um mix leite/polpa de maracujá na produção de pó obtido por três diferentes métodos de secagem. Dissertação de Mestrado, IBILCE – Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto, SP, Brasil.
- Chegini, G. R., & Ghobadian, B. (2007). Spray dryer parameters for fruits juice drying. *World Journal of Agricultural Science*, 3 (2), 230-236.
- Costa, J. M. G. (2013). *Eficiência de diferentes encapsulantes e condições operacionais de secagem por atomização na produção e aplicação de micropartículas de bioaroma de queijo suíço*. Tese de doutorado, Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, Brasil.
- Dziezak, J. D. (1988). Microencapsulation and encapsulated ingredients. *Food Technology*, 42 (4), 136-151.
- Felix, P. H. C. (2014). *Microencapsulação de óleo essencial de canela por atomização com emprego de diferentes materiais de parede*. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brasil. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.03.047>
- Fuchs, M., Turchiuli, C., Bohin, M., Cuvelier, M. E., Ordonnaud, C., Peyrat-Maillard, M. N., & Dumoulin, E. (2006). Encapsulation of oil in powder using spray drying and fluidised bed agglomeration. *Journal of Food Engineering*, 75 (1), 27–35. [https://doi.org/10.1002/1097-0215\(200002\)9999:9999](https://doi.org/10.1002/1097-0215(200002)9999:9999)
- Gago-Dominguez, M., Castelao, J. E., Yuan, J. M., Yu, M. C., & Ross, R. K. (2001). Use of permanent hair dyes and bladder-cancer risk. *Internacional. Journal of Cancer*, 91 (4), 575–579.
- Gamarra, F. M. C., Leme, G. C., Tambourgi, E. B., & Bittencourt, E. (2009). Extração de corantes de milho (*zea mays* L.). *Ciência e Tecnologia de alimentos*, 29 (1), 62-69. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612009000100010>
- Garcia, C. M. S. (2016). *Microencapsulação por spray drying de compostos bioativos de subprodutos do ananás*. Dissertação de mestrado, Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal.

- Giusti, M. M., & Wrolstad, R. E. (2001). Characterization and measurement of anthocyanins by UV-visible spectroscopy. In Wrolstad, R.E. (Ed.). *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*. New York: Wiley.
- Gonçalves, R. A., Santos, J. P., Tomé, P. H. F., Pereira, R. G. F. A., Ascheri, J. L. R., & Abreu, C. M. P. (2003). Rendimento e composição química de cultivares de milho em moagem a seco e produção de *grits*. *Ciência e Agrotecnologia*, 27 (3), 643-650. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542003000300020>
- Goula, A. M., & Adamopoulos, K. G. (2005). Spray drying of tomato pulp in dehumidified air: The effect on product recovery. *Journal of Food Engineering*, 66 (1), p. 25-34.
- Gutkoski, L. C., & Trobetta, C. (1998). Avaliação dos teores de fibra alimentar e de beta-glicanas em cultivares de aveia (*Avena sativa* L.). *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 19 (3), 121-124. <https://doi.org/10.1590/S0101-20611999000300016>
- Hartge, P., Hoover, R., Altman, R., Austin, d. F., Cantor, K. P., Child, M. A., Key, C. R., Mason, T. J., Marret, L. D., Myers, M. H., Narayana, A. S., Narayana, A. S., Silverman, D. T., Sullivan, J. W., Swanson, G. M., Thomas, D. B., & West, D. W. (1982). Use of hair dyes and risk of bladder cancer. *Cancer Research*, 42 (11), p.4784-4787.
- Havlin, J. L., Beaton, J. D., Tisdale, S. L., & Nelson, W. L. (2005). *Soil fertility and fertilizers: an introduction to nutrient management*. 7. ed. New Jersey: Pearson. p. 515.
- Hu, Q. P., & Xu, J. G. (2012). Profiles of carotenoids, anthocyanins, phenolics, and antioxidant activity of selected color waxy corn grains during maturation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59 (5), 2026- 2033. <https://doi.org/10.1021/jf104149q>
- Jafari, S. M., Assadpoor, E., He, Y., & Bhandari, B. (2008). Encapsulation efficiency of food flavours and oils during spray drying. *Drying Technology*, New York, 26 (7), 816-835. <https://doi.org/10.1080/07373930802135972>
- Lucchin, M., Barcaccia, G., & Parrini, P. (2003). Characterization of a flint maize (*Zea mays* L. convar. *mays*) Italian landrace: I. Morpho-phenological and agronomic traits. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 50 (3), 315-327.
- Mallmann, L. P. (2011). *Extração de antocianinas a partir de casca de berinjela (solanum melongena)*. Trabalho de Conclusão de Curso na Engenharia de Alimentos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil.
- Masters, K. (1985). *Spray Drying: An introduction to principles, operation practice and application*. Leonard Hill Books. London.
- Mex-Alvarez, R. M. J., Bolívar-Fernández, N. J., Garma-Quen, P. M., Tut-Heredia, J. A., & Romero-Guillén, K. I. (2013). Actividad antioxidante de cinco variedades de maíz cultivadas en Campeche, México. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales*, 12 (6), 558-571.
- Oliveira, M. I. S., Tonon, R. V., & Cabral, L. M. C. (2013). Estabilidade da polpa de morango atomizada utilizando diferentes agentes carreadores. *Brazilian Journal of Food Technology*, 16 (4), 310-318. <https://doi.org/10.1590/S1981-67232013005000037>
- Paes, M. C. D. (2006). Aspectos físicos, químicos e tecnológicos do grão de milho. [Folheto]. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, (Circular técnica, 75).
- Paes, M. C. D. (2011). Milho: a evolução do seu consumo na dieta humana através dos povos e do tempo. Sete Lagoas: EMBRAPA, *Jornal Eletrônico da Embrapa Milho e Sorgo*. <http://www.cnpms.embrapa.br/grao/30educacao/graoemgraoartigo01>.
- Pante, G. C. (2014). *Desenvolvimento, encapsulação e caracterização da polpa integral de amora-preta (Rubus sp.) aplicada em frozen yogurt*. Trabalho de Conclusão de Curso em Tecnologia em Alimentos, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, PR, Brasil.
- Picolli, L., & Ciocca, M. L. S. (1997). Determinação de fibra total, insolúvel e solúvel em grãos de cereais. *Anais XXXIV Reunião Anual da sociedade Brasileira de Zootecnia*, Juiz de fora, MG, Brasil, 184-186.
- Pinto, A. T. B. (2009). *Caracterização de variedades de milho crioulo cultivadas na região dos campos gerais para utilização agroindustrial*. Dissertação de Mestrado em Ciências e Tecnologia de Alimentos, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, PR, Brasil.
- Rahman, M. S., & Labuza, T. P. (2007). Water activity and food preservation. In: Rahman, M. S., *Handbook of Food Preservation*. (2ª ed.) p. 447-476.
- Reid, D. S., & Fennema, O. R. (2008). Chapter 2 —Water and Ice. In: Damodaran, S; Parkin, K. L.; Fennema, O. R. *Food Chemistry*. New York: Marcel Dekker, (4ª ed.) p. 18-74.
- Rosa, C. G. (2012). Microencapsulação de extratos metanólicos de amora-preta (*Rubus Fruticosus*) e ácido gálico. Dissertação de Mestrado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, Brasil.
- Salinas-Moreno, Y., Chávez, F. J. C., Ortiz, S. A. D., & Castilho-Gonzalez, F. (2012). Pigmented maize grains from Chiapas, physical characteristics, anthocyanin content and nutraceutical value. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 35 (1), 33-41.
- Singleton, V. L., & Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16 (3), 144-158.
- Souza, V. B. (2013). *Aproveitamento dos subprodutos de vinificação de uva Bordô (Vitis labrusca) para obtenção de pigmentos com propriedades funcionais*. Dissertação de Mestrado em Ciência da Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, SP, Brasil.
- Stefanello, R. (2014). *Composição química e qualidade de sementes de variedades crioulas de milho no armazenamento*. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil.
- Steinmacher, N. C. (2005). Caracterização físico-química, das propriedades reológicas e das proteínas de milho crioulo (*Zea mays*). Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil.

Tonon, R. V., Brabet, C., & Hubinger, M. D. (2013). Aplicação da secagem por atomização para a obtenção de produtos funcionais com alto valor agregado do açaí. *Inclusão Social*, 6 (2), 70- 76.

Tosoni, S. F., & Rodrigues, V. C. (2013). *Características físico-químicas e antioxidantes de própolis microencapsulada com diferentes tipos de materiais de parede*. 37 f. Trabalho de Conclusão de Curso em Tecnologia em Alimentos, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, PR, Brasil.

Tsuda, T., Ohshima, K., Kawakishi, S., & Osawa, T. (1994). Antioxidative pigments isolated from the seeds of *Phaseolus vulgaris* L. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 42 (2), 248-251. <https://doi.org/10.1021/jf00038a004>

Vissoto, F. Z., Montenegro, F. M., Santos, J. M., & Oliveira, S. J. R. (2006). Avaliação da influência dos processos de lecitinação e de aglomeração nas propriedades físicas de achocolatado em pó. *Ciências e Tecnologia de Alimentos*, Campinas. 26 (3) 666-671. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612006000300028>