DEMANDA DE PROTEÍNAS VEGETAIS: POTENCIALIDADES E O DIFERENCIAL DOS FARELOS DE MACAÚBA (REVISÃO)

S.C. GRANDE¹ e E. C. CREN¹

¹ Universidade Federal de Minas Gerais. Departamento de Engenharia Química da Escola de Engenharia
E-mail: erika.cren@gmail.com

RESUMO: *Alguns dos desafios do desenvolvimento sustentável visam atender às necessidades do crescimento populacional, como a demanda por alimentos e combustíveis renováveis. Concomitantemente, a ineficiência dos processos produtivos agroindustriais resulta em grande desperdício e subaproveitamento das potencialidades presente nas diversas matérias primas. Muitos resíduos gerados na cadeia produtiva e de processamento de alimentos são ainda fonte de proteínas, fibras e carboidratos, no entanto, este potencial nutricional é pouco aproveitado para a alimentação humana, sendo na maioria das vezes, destinados para alimentação animal ou produção de adubos. Neste sentido, a presente revisão visa apontar não só o potencial nutricional, com relação à composição em proteínas, associado aos resíduos gerados no processamento de oleaginosas, com destaque as empregadas para a produção de biodiesel, o que gera grande oferta de farelo com potencial para uso na alimentação humana, com é o caso dos frutos da macaúba, mas também apresentar estratégias tecnológicas para recuperação das proteínas dos resíduos, a fim de disponibilizá-las de forma sustentável.*

PALAVRAS CHAVES: Farelos de macaúba; Resíduos agroindustriais, Proteínas vegetais.

1. INTRODUÇÃO

As estimativas da FAO (2015) indicam que cerca de 795 milhões de pessoas são cronicamente afetados pela fome e má nutrição em todo o mundo, número até 167 milhões menor nas últimas décadas. O declínio é mais significativo nas regiões em desenvolvimento, apesar do grande crescimento populacional. Contudo, apesar do progresso, o desafio de erradicar a fome continua sendo o objetivo de diversas ações e políticas sociais. Como agravante, em 2050, é esperado que a população mundial passe dos atuais 7,4 bilhões, aproximadamente, para cerca de 9,7 bilhões, um aumento anual de 80 milhões de pessoas, equivalente a uma taxa de crescimento populacional de 1,18% por ano.

Este fato reflete diretamente no consumo de alimentos, com estimativa de aumento na demanda de 84%, entre os anos 2000 e 2050, o que exigirá um crescimento na produção de alimentos em cerca de 86% (Kruse, 2010).

Em contrapartida, segundo a FAO (2015), cerca de 1/3 da produção mundial de alimentos, equivalente a quase 1,3 bilhões de toneladas, são desperdiçados anualmente em todo mundo, sendo que 25% destes seriam suficientes para alimentar os cerca de 795 milhões de famintos no mundo. Do total das perdas, 54% acontecem na fase de produção, manipulação pós-colheita e armazenagem e 46% ocorrem nas etapas de processamento, distribuição e consumo.

Somado a isso, o aumento da demanda mundial por combustíveis renováveis, como o biodiesel e o etanol, visando a redução da dependência por combustíveis fósseis, trouxe como consequência um novo cenário agroindustrial mundial: o aumento na produção de óleos vegetais, com necessidade cada vez mais crescente de diversificação das fontes oleaginosas e aumento da demanda por terras para produção das mesmas, em detrimento à produção de alimentos, e consequentemente, aumento no consumo de água, diminuição da diversidade ecológica e por fim, a geração de grandes montantes de resíduos com destaque para tortas e farelos das oleaginosas, com aplicação quase exclusiva na fabricação de rações para alimentação animal (Aiking, 2011; Sari, 2015).

Adicionalmente, dos grãos produzidos mundialmente, 50% são destinados para a alimentação animal, com objetivo de produzir proteína animal que responde por cerca de 2/3 da demanda mundial em proteínas para atender a alimentação humana, sendo que apenas 1/3 da demanda está associada à proteína vegetal, cuja principal fonte é o farelo de soja (Wu *et al.*, 2014). Contudo, a produção de proteínas animal continua sendo uma prática não sustentável na maioria dos países subdesenvolvidos ou em desenvolvimento, não somente devido aos impactos gerados pela demanda por grãos, mas também, pela considerável degradação ambiental proveniente do uso extensivo da terra para a criação do gado, além da contaminação do solo, água e atmosfera com produtos e dejetos gerados por esta criação (FAO, 2015, Sari, 2015).

Diante deste cenário, as estratégias sugeridas para minimizar o déficit na disponibilidade de alimentos e a competição com a produção de biocombustíveis passam pela diversificação da produção e aumento da produtividade agrícola, pecuária e de processamento, mas principalmente, pelo uso e aproveitamento integral dos recursos agrícolas, através da minimização do desperdício e utilização das potencialidades dos subprodutos gerados no processamento, como forma de atender a demanda crescente por matéria prima industrial, tornando a agroindústria mais competitiva, eficiente e sustentável, viabilizando deste modo, a disponibilização de matéria prima suficiente para a produção de ração animal, alimento humano, biocombustíveis e de outros produtos industriais em geral (Texeira *et al.*, 2014; FAO, 2015).

Neste sentido, alguns trabalhos na literatura vêm propondo a exploração e uso dos resíduos agroindustriais como potenciais fontes de biomoléculas, com alto valor agregado e nutricional, como as proteínas vegetais, antioxidantes, vitaminas, fibras e carboidratos, que podem ser extraídas, isoladas e aproveitadas em diversos setores industriais na área de alimentos, fármacos, cosméticos e química, tornando a cadeia agroindustrial sustentável (Sari, 2015).

O objetivo do presente trabalho de revisão foi apresentar o potencial uso dos resíduos do processamento de oleaginosas, a saber, farelos e tortas, como fonte de proteínas vegetais para uso na indústria de alimentos, com destaque para os frutos da macaúba, em comparação com outras fontes oleaginosas tradicionalmente exploradas, apresentando possíveis tecnologias empregadas para a extração e recuperação das proteínas vegetais, além de aplicações dos produtos obtidos na indústria de alimentos (Coimbra e Jorge, 2011; Munhoz, 2013).

2. A MACAÚBA [*Acrocomia aculeata* (JACQ) Lodd. Ex. Mart] E SUAS POTENCIALIDADES

A palmeira de macaúba do gênero *Acrocomia* e família *Arecaceae*, é uma planta arborecente, perene, frutífera, nativa e muito predominante em toda região das florestas tropicais da América do Sul, estando presente desde o sul do México até as regiões do Brasil e Argentina. Especificamente no Brasil, ela predomina em quase todo território nacional, com destaque para região do cerrado brasileiro, principalmente nos estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, São Paulo, Ceará e Minas Gerais (Revello, 2014).

A macaúba vem despertando grande interesse industrial, principalmente como fonte alternativa de óleos para a produção de biodiesel, devido a sua apreciável produtividade em óleo, superior a da soja e comparável a produtividade de óleo de palma, oleaginosa esta mais produzida no mundo, com uma produtividade média de 5.000 kg/ha, sendo por isso, a principal fonte de óleos vegetais (Revello, 2014).

Destaca-se ainda, que a partir dos óleos dos frutos da macaúba é possível obter um rendimento na reação de transesterificação para a produção de biodiesel de alta qualidade entre 70 e 99 %, valores estes similares aos reportados para o rendimento de biodiesel obtido a partir de óleo de soja (Aguieiras *et al.*, 2014; Michelin *et al.*, 2015; Scherer, 2015).

A macaúba é uma cultura extrativista, com grande importância socioeconômica e ambiental, contudo, devido ao grande interesse industrial pela cultura, e a fim de incentivar a exploração comercial da mesma, o estado de Minas Gerais decretou em 2011, a lei estadual nº 19.485/2011, que instituiu a política estadual de incentivo ao cultivo, à extração, à comercialização, ao consumo e à transformação da macaúba e das demais palmeiras oleaginosas. A regulamentação da referida lei no estado também foi impulsionada pela demanda crescente por matérias primas fonte de óleos, que se inserem no contexto da geração de energias renováveis, sendo apontada como uma das matérias-primas mais promissoras para a produção de biodiesel (Azevedo Filho *et al.*, 2012).

Os frutos da macaúba, como mostrado na Figura 1, são constituídos por epicarpo ou casca, correspondendo a 16 – 22 % do peso do fruto, mesocarpo ou polpa, equivalente a 35 – 42 % do peso total do fruto e o endocarpo (33 – 37 %) que contém a amêndoa (5 – 7 %) (Almeida, 2014; Nobre *et al.*, 2014).

Figura 1 – Fruto de macaúba, suas partes e aplicações.

A Tabela 1 apresenta a composição média da polpa e amêndoa de macaúba, em comparação com o grão de soja, principal oleaginosa cultivada no Brasil e fonte de proteínas vegetais, assim como o amendoim.

Tabela 1 - Composição centesimal (%) em base úmida da polpa e amêndoa de macaúba e do grão de soja e amendoim

Composição (%)	Polpa (a)	Amêndoa (b)	Soja (c)	Amendoim (d)
Umidade	46,22±3,09	8,11±3,42	6,68±1,36	5,24±1,99
Proteína Bruta	2,98±1,56	20,87±5,49	39,14±0,98	27,70±2,81
Lipídeos	31,69±6,09	48,25±2,48	21,26±0,96	46,74±3,66
Cinzas	2,16±0,66	1,98±0,09	5,11±0,24	2,09±0,37
Carboidratos	16,95±3,16	20,79±1,78	27,81±1,11	18,23±2,84

Fonte: Valores médios calculados a partir da literatura: (a) - Lescano *et al.*, (2015); Munhoz (2013); TACO (2011); (b) - Hiane *et al.*, (2006); Lescano *et al.*, (2015); Coimbra e Jorge, (2011); (c) - Banaszkiwicz (2011); (d) - Ayoola *et al.*, (2012); Freitas *et al.*, (2012); TACO (2011).

Da Tabela 1, observa-se que a polpa apresenta um alto teor de umidade, quando in natura, diferente da amêndoa e demais sementes oleaginosas. A alta umidade da polpa, além de prejudicar o processo de extração de óleos, também é responsável pela baixa estabilidade do mesmo, sendo necessário, a fim de obter-se um óleo de melhor qualidade, um processamento pós-colheita imediato dos frutos, em especial da polpa de macaúba. Desta forma, a secagem da polpa vem sendo utilizada como processo que garante estabilidade à polpa e que viabiliza o processo de extração de óleo de forma eficiente.

Na Tabela 1 é possível perceber que a amêndoa possui uma composição muito semelhante a do amendoim, sendo desta forma também, uma excelente fonte de proteínas vegetais, assim como a soja. Contudo, também nota-se que tanto a polpa quanto a amêndoa apresentam considerável teor de carboidratos, incluindo fibras, o que destaca principalmente a polpa como fonte potencial de carboidratos.

Nota-se na Tabela 1 ainda, que o teor de óleos tanto na polpa quanto na amêndoa são comparáveis aos observados para as sementes oleaginosas, amendoim e soja, demonstrando o potencial do fruto da macaúba como fonte promissora de óleos vegetais, com diferentes aplicações industriais, mas principalmente para a produção de biodiesel (Aguieiras *et al.*, 2014; Michelin *et al.*, 2015).

Desta forma, pode-se afirmar que a polpa e amêndoa de macaúba podem ser industrialmente exploradas não só como fonte de óleos vegetais, mas também como fonte de proteínas e carboidratos, utilizados de diferentes formas e para diferentes aplicações, assim como é feito para outras oleaginosas exploradas industrialmente, a saber, o amendoim e a soja. Associado ao aproveitamento dos farelos e tortas dos frutos da macaúba é reportado na literatura a produção de bolos, barra de cereais e biscoitos, além de outros alimentos (Ferreira *et al.*, 2013; Dessimoni-Pinto *et al.*, 2010; Revello, 2014).

Com relação aos óleos, de um modo geral, o óleo extraído da polpa apresenta como principais ácidos graxos, o ácido oleico (53 %) e o palmítico (19 %), com grande potencial de uso na indústria de alimentos e na produção de biodiesel, o óleo extraído da amêndoa, por sua vez, é composto, principalmente, pelo ácido láurico (44 %) e oleico (26 %), sendo considerado um óleo fino, e por isso, muito apreciado na indústria de alimentos, fármacos e cosméticos (Nobre *et al.*, 2014).

Contudo, devido ao alto teor de óleos na polpa e amêndoa da macaúba, alcançando quase 50%, em base seca, a tecnologia usualmente empregada para a extração dos óleos, com eficiência e baixo custo, compreende processos mecânicos de extração, como a prensagem, utilizando prensas hidráulicas e principalmente do tipo *expeller*. No contexto da cultura extrativista da macaúba, o uso das prensas mecânicas, em pequenas propriedades rurais, tem sido a opção ideal do ponto de vista econômico, prático e ambiental, gerando óleos e tortas com boa qualidade comercial e industrial (Almeida, 2014; Revello, 2014).

Adicionalmente, é válido destacar, que devido aos custos relativamente baixos de produção e extração dos óleos de macaúba, esta cultura foi inserida no Programa Nacional de Produção de Biodiesel (PNPB), que prioriza o incentivo à produção de matérias primas obtida em comunidades rurais extrativistas, como forma de integrar a produção agrícola, animal e de biocombustíveis, tornando assim, a cultura da macaúba um exemplo de agroindústria sustentável, demonstrando seu potencial para o desenvolvimento social e econômico do país, principalmente das populações rurais onde a cultura é predominante (Almeida, 2014).

No entanto, apesar da extração mecânica ser uma alternativa barata e relativamente eficiente, este processo unicamente não garante a máxima recuperação dos óleos presentes na polpa e amêndoa, gerando perdas de óleo juntamente às tortas, o que torna o processamento para extração de óleos industrialmente ineficiente. A literatura reporta um rendimento máximo associado à extração mecânica por *expeller* de 80% (Pighinelli *et al.*, (2007).

Logo, a exemplo do processamento industrial de oleaginosas como o amendoim, a canola e o girassol, a fim de aproveitar ao máximo o óleo presente nas partes da macaúba, a prensagem mecânica associada à extração por solvente garantem máxima extração dos óleos e obtenção de farelos (torta desengordurada) de boa qualidade (Texeira *et al.*, 2014).

Desta forma, a partir do processamento da polpa e amêndoa de macaúba, para extração de óleos, os farelos são produzidos como coprodutos e apresentam em sua composição biomoléculas de valor agregado como proteínas, fibras e carboidratos, conforme visto anteriormente, e que possuem diversas aplicações industriais, devido as suas propriedades nutricionais e funcionais tecnológicas, nomeadamente, capacidade de absorção de água e gordura, emulsificante, estabilizante e espessante. Estas propriedades são desejáveis para a formulação de diferentes tipos de alimentos, com destaque para a indústria de panificação e massas e a indústria de produtos cárneos, além da importância no fabrico de suplementos alimentares e alimentos para fins especiais (Ferreira *et al.*, 2013, Jideani, 2011; Veridiano, 2012).

A Tabela 2 apresenta a composição dos farelos de polpa e amêndoa de macaúba, em base úmida, em comparação com os farelos de soja e amendoim, principais fontes comerciais de proteínas vegetais.

Tabela 2 - Composição centesimal, em base úmida, dos farelos da polpa e amêndoa de macaúba e farelos de soja e amendoim.

Composição (%)	Farelo da polpa (a)	Farelo de amêndoa (b)	Farelo da Soja (c)	Farelo de Amendoim (d)
Umidade	7,27±2,07	9,22±0,93	7,38±3,29	6,70±2,95
Proteína Bruta	6,81±1,06	31,41±4,91	44,73±1,80	47,09±3,98
Lipídeos	4,54±1,74	6,98±4,10	1,96±0,13	2,72±1,09
Cinzas	4,20±0,55	4,35±0,49	6,41±0,52	5,89±0,37
Carboidratos	77,18±1,95	48,04±1,35	39,52±1,64	37,60±4,67

Fonte: Valores médios calculados a partir da literatura: (a) - Pereira (2013); (b) - Hiane *et al.*, (2006); Silva *et al.*, (2014); (c) - Banaszkiwicz (2011); (d) - Araújo *et al.*, (2007).

Conforme se pode observar na Tabela 2, o farelo de polpa se destaca por sua composição em carboidratos que incluem as fibras alimentares e amido e o farelo de amêndoa, por sua vez, possui apreciável teor de proteínas e carboidratos, sendo comparável ao farelo de soja de amendoim. Desta forma, pode-se dizer que os farelos de macaúba são fonte alternativa de biocomponentes importante para alimentação humana e de interesse industrial.

Sabe-se que o consumo de fibras alimentares, que na Tabela 2 estão incluídos no total de carboidratos é apontado como responsável na prevenção de doenças degenerativas como câncer, osteoporose, diabetes e doenças cardiovasculares, sendo também auxiliar no combate da obesidade, atuando como facilitador do trânsito intestinal, igualmente importante na nutrição humana, os carboidratos compreendem compostos que são à base da alimentação, como o amido e a sacarose. As proteínas, assim como os demais compostos, são indispensáveis para a manutenção dos organismos vivos, sendo a proteína vegetal, uma alternativa à proteína animal (Damodaran *et al.*, 2010; Mineiro, 2014).

Além das características nutricionais das biomoléculas mencionadas, as mesmas vêm sendo amplamente utilizadas na indústria química e de alimentos, devido suas propriedades funcionais tecnológicas como a capacidade de absorver água e óleo, capacidade de formar géis, capacidade estabilizante e espessante, além de servirem como substrato para processos biotecnológicos com formação de produtos de alto valor agregado de forma sustentável (Mineiro, 2014; Damodaran *et al.*, 2010; Regitano-D'arce, 2006).

Outro destaque associado aos farelos da polpa e amêndoa de macaúba, além da composição em biomoléculas de interesse industrial e nutricional, é a ausência de compostos tóxicos e antinutricionais na composição dos farelos, como geralmente encontrado em tortas ou farelos obtidos de outras fontes oleaginosas, a saber, a soja, o amendoim, a canola, o girassol, entre outras. Ao extrair o óleo da maioria das sementes oleaginosas, os componentes tóxicos e antinutricionais tendem concentrar-se nas tortas ou farelos, o que muitas vezes limita o uso direto das mesmas na alimentação humana e/ou animal (Nobre *et al.*, 2014; Revello, 2014).

Os principais compostos antinutricionais encontrados em oleaginosas são: as *saponinas* caracterizadas pelo sabor amargo e pela formação de espuma em soluções aquosas, sendo responsáveis por modificações na permeabilidade da mucosa intestinal, inibindo o transporte de nutrientes para diversos órgãos; as *proteínas alergênicas* (*conglícinina* e β -*conglícinina*) que reduzem a absorção de nutrientes causando efeitos deletérios no intestino delgado; os *inibidores de proteases* (*Kunitz* e *Bowman-Birk*) que inibem a atividade da tripsina e quimiotripsina, reduzindo o valor nutritivo das proteínas nas leguminosas e as *lectinas* que são proteínas que se encontram na maioria das leguminosas e atuam combinando-se com células da parede intestinal, causando interferência não específica na absorção e diminuição da digestibilidade dos nutrientes (Chiesa e Guanansounou, 2011).

Contudo, estes compostos antinutricionais podem ser eliminados através de pré-tratamento dado às matérias primas antes do processo de extração dos óleos, sendo realizado um tratamento térmico (cozimento) em temperaturas superiores a 100° C. O tratamento térmico, por outro lado, é tido como responsável por provocar perdas nutricionais, assim como a desnaturação das proteínas presentes nas oleaginosas, o que compromete a funcionalidade proteica, além da solubilidade, parâmetro fundamental no processo de extração de proteínas (Chiesa e Guanansounou, 2011; Revello, 2014).

Por sua vez, compostos tóxicos e/ou alergênicos também podem ser encontrados em oleaginosas como o pinhão manso, que possui ésteres de ferbol e lectinas, a mamona que apresenta a ricina e ricinina, a semente de algodão que contém o gossipol e compostos orgânicos voláteis e o amendoim que possui a aflatoxina. Portanto, para que os farelos destas oleaginosas sejam utilizados na alimentação humana e/ou animal, os componentes tóxicos são eliminados após processos de detoxificação, o que acaba por encarecer os processos de obtenção e uso dos farelos livre de componentes tóxicos, limitando assim, o uso destes subprodutos e muitas vezes, inviabilizando o processamento destas oleaginosas de forma comercial (Revello, 2014).

Desta forma, pode-se afirmar que a macaúba, assim como seus farelos de polpa e amêndoa, apresentam vantagens e potencial para aproveitamento industrial sustentável, seja

na forma integral ou processada, como, por exemplo, a obtenção de biomoléculas de valor agregado, a saber, proteínas, carboidratos e fibras.

3. PRINCIPAIS FONTES DE PROTEÍNAS VEGETAIS: IMPORTÂNCIA DAS TORTAS E FARELOS DE OLEAGINOSAS

A maior fonte de proteínas da alimentação humana é constituída por proteína de origem animal, advindas principalmente da carne de bovinos, suínos, aves e peixes, além dos ovos. Enquanto que a proteína vegetal tem como principais fontes as oleaginosas e os cereais, com destaque para a soja, o amendoim e o girassol, sendo que industrialmente, são consideradas fontes de proteínas vegetais os produtos de origem agrícola cujo teor de proteínas seja superior a 5% em base seca (Chiesa e Guanansounou, 2011; Sari, 2015; Wu *et al.*, 2014).

No processamento industrial de oleaginosas para extração de óleos vegetais para a indústria química, de alimentos, cosméticos e fármacos, e atualmente com destaque para a produção de biodiesel, elevadas quantidades de tortas e farelos são geradas como subproduto. Contudo, devido à composição rica destes resíduos, os mesmos tornam-se fonte de diferentes compostos de interesse industrial para aplicação não só na alimentação humana e animal, mas em outras áreas.

Sendo assim, a exemplo da cadeia agroindustrial da soja, cuja viabilidade e importância econômica estão associadas ao aproveitamento integral do grão, sabe-se que do processamento da soja para produção de óleos, obtém-se aproximadamente 79% de farelo e 19% de óleo. A priori, o farelo de soja não seria o principal produto obtido na indústria de processamento de óleos, porém, devido ao montante gerado e a sua nobre composição, este subproduto passou a ser aproveitado industrialmente como a mais importante fonte de proteínas vegetais, contendo cerca de 50% de proteínas. Logo, o lucro obtido com a venda de farelo de soja é cerca de 2,5 vezes maior que o obtido com a venda de óleo de soja (WWF, 2014).

Contudo, cerca de 3/4 da soja produzida no mundo é destinada à produção animal, 6% para consumo humano e o restante utilizado pela indústria de processamento de óleo, de onde se obtém também os farelos. A maior parte do óleo de soja produzido, cerca de 80%, vem sendo destinada para a indústria de biodiesel, e somente a parte restante destinada à indústria de alimentos e outras. Dos produtos processados obtidos a partir do farelo de soja, para alimentação humana e animal, destacam-se farinhas proteicas, ração, isolado, concentrado e hidrolisado proteicos (WWF, 2014).

No entanto, devido a grande disponibilidade de soja e a composição em aminoácidos essenciais, em especial a lisina, e não essenciais, associando excelente qualidade nutricional aos farelos, os produtos proteicos de soja tornaram-se ingredientes indispensáveis na formulação de rações e a principal fonte comercial de proteína vegetal para a indústria de alimentos (Regitano-D'arce, 2006; Rodrigues *et al.*, 2012).

Logo, pode-se dizer que uma forma de minimizar a dependência pela soja como fonte principal de proteína vegetal, diminuindo também a pressão sobre a demanda, diversidade e

disponibilidade de alimentos, com consequências nos custos de produção, seria explorar o potencial de oleaginosas alternativas e emergentes como fonte de biomoléculas de valor agregado, além dos lipídeos, com destaque para as proteínas, com objetivo de aproveitamento na alimentação humana.

Além do farelo de soja, outras oleaginosas com menor expressão também são utilizadas industrialmente como fonte de proteínas vegetais, a saber, amendoim, canola, girassol, entre outras. Na Tabela 3, comparativamente à macaúba, são apresentadas as principais oleaginosas utilizadas industrialmente como fonte de óleos vegetais, e consequentemente, de biomoléculas como as proteínas vegetais, carboidratos e fibras, oriundas dos farelos.

Tabela 3 – Produtividades médias no Brasil em óleos, farelos e proteínas associadas à diferentes oleaginosas. Valores expressos em base seca.

Oleaginosa	Teor de óleo (%)	Produtividades			Proteínas no farelo (%)	Potencial de produção de proteínas (kg/ha/ano)
		Oleaginosa (kg/ha/ano)	Óleo (kg/ha/ano)	Farelo (kg/ha/ano)		
Amendoim	49	1.800	882	918	50	459
Canola	38	1.800	684	1.116	50	558
Gergelim	39	1.000	390	610	55	335,5
Girassol	43	1.600	672	928	55	510,4
Soja	19	2.200	418	1.782	55	980,1
Dendê/Palma	20	10.000	2.000	8.000	14	1.120
Polpa macaúba	31	10.000	3.100	6.900	8,5	586,5
Amêndoa macaúba	40	1.500	600	900	25	225

Fonte: Adaptado pelo Autor a partir de dados de Texeira *et al.*, (2014).

Na Tabela 3 pode-se verificar que a macaúba destaca-se por sua maior produtividade em óleos e farelos. A produtividade em óleos de macaúba chega a ser quase 9 vezes maior que a produtividade de óleo de soja e quase o dobro da produtividade de óleo de dendê, óleo mais produzido e consumido mundialmente (Abrapalma, 2016).

Apesar dos farelos de polpa e amêndoa possuírem menor teor de proteínas, quando comparados com o farelo de soja, amendoim ou canola, os resíduos gerados no processamento de óleos de macaúba podem chegar a 7.800 kg/ha por ano, cujo potencial de produção de proteínas extraídas a partir dos farelos pode alcançar valores de 811,5 kg/ha/ano, valor próximo ao obtido para a soja de 980,1 kg/ha/ano, principal fonte de proteínas vegetais para a produção de ração, produtos e ingredientes proteicos.

Observando os dados apresentados na Tabela 3, nota-se que a polpa de macaúba sozinha é capaz de produzir mais proteínas que o amendoim, a canola, o girassol e o gergelim,

principalmente devido ao montante de farelo de polpa gerado no processamento de óleos, o que coloca os farelos de macaúba como potencial fonte de proteínas vegetais.

De um modo geral, as proteínas constituem um dos nutrientes mais importantes para o perfeito funcionamento dos organismos, sendo responsável pela coordenação de processos vitais nas células, e por isso, no metabolismo dos seres vivos. Desta forma, o consumo de proteínas é indispensável, sendo recomendado o consumo médio diário de 0,75 a 0,80 g/kg de peso corporal (FAO, 2013). Além disso, as proteínas possuem propriedades tecnológicas, como capacidade estabilizante e espessante, apreciáveis na indústria de alimentos (Damodaran *et al.*, 2010; Regitano-D'arce, 2006).

As proteínas são constituídas por aminoácidos que se dividem em essenciais e não essenciais. Os aminoácidos essenciais, assim como os não essenciais, são indispensáveis para o desenvolvimento saudável do organismo humano, no entanto, não são sintetizados por este, e por isso, devem ser obtidos a partir da alimentação. Entre os aminoácidos essenciais destacam-se a histidina, isoleucina, leucina, lisina, metionina, fenilalanina, treonina, triptofano e valina (Sousa *et al.*, 2009).

As proteínas de origem animal são consideradas as mais completas para atender a alimentação humana, pois possuem todos os aminoácidos essenciais, além dos não essenciais, apresentando maior digestibilidade e, por conseguinte, maior biodisponibilidade. Contudo, a produção de proteína animal, além de ser ambientalmente insustentável, possui alto custo, não sendo acessível a grande parte da população (Chiesa e Guanansounou, 2011; Sari, 2015).

Em contrapartida, muitas espécies vegetais, como as oleaginosas, apresentam grande potencial como fonte de proteínas para alimentação, porém, podem apresentar limitação com relação alguns tipos de aminoácidos essenciais, além de algumas espécies apresentarem em sua composição fatores antinutricionais, como ocorre com a soja.

Entretanto, a soja é a única espécie estudada cuja qualidade em proteínas se aproxima das proteínas animal, por isso, é até hoje a principal fonte de proteínas vegetal para alimentação humana e animal. De um modo geral, as proteínas vegetais se mostram vantajosas por serem mais disponíveis para a população e mais baratas (Damodaran *et al.*, 2010; Rodrigues *et al.*, 2012).

A Tabela 4 apresenta o perfil comparativo de aminoácidos das proteínas presentes nos farelos de polpa e amêndoa de macaúba, amendoim e soja, em relação aos padrões mínimos diários estabelecidos pela FAO (Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação) para uma população adulta.

Tabela 4 - Teor de aminoácidos essenciais presentes nos farelos da polpa e amêndoa de macaúba, de amendoim e de soja.

Aminoácidos Essenciais	Farelo de Polpa (mg/g) (a)	Farelo de Amêndoa (mg/g) (a)	Farelo de Amendoim (mg/g) (b)	Farelo de Soja (mg/g) (c)	FAO (2013) (mg/g)
Isoleucina	41,2	26,8	34,5	53,1	28
Leucina	67,3	59,5	70,3	88,5	66
Lisina	58,5	78,1	38,5	59,6	58
Metionina + Cisteína	125,9	28,9	16,4	28,7	25
Fenilalanina + Tirosina	119,3	50,1	87,8	109,3	63
Treonina	50,2	17,6	22,1	46,3	34
Triptofano	-	-	7,3	11,2	11
Valina	47,5	57,9	39,5	57,3	35
Histidina	-	-	25,4	29,2	21

Fonte: Adaptado a partir de (a) - Munhoz (2013); (b) - Araújo *et al.*, (2007); (c) - Silva *et al.*, (2014).

Na Tabela 4, observa-se que os farelos de polpa e amêndoa juntos, atendem satisfatoriamente os limites estabelecidos pela FAO, com relação à composição mínima de aminoácidos essenciais fornecidos pelas proteínas destes farelos. Os farelos de macaúba são deficientes apenas com relação aos aminoácidos triptofano e histidina. No entanto, apresentam quantidades em excesso dos aminoácidos metionina + cisteína e fenilalanina + tirosina. Comparativamente, os farelos de soja, amendoim e de macaúba se complementam, atendendo no geral, em excesso os limites estabelecidos pela FAO com relação ao consumo de aminoácidos essenciais.

Desta forma, os farelos da macaúba mostram-se importante fonte de proteínas vegetais, contendo a maioria dos aminoácidos essenciais, como mostrado na Tabela 4, e por isso, com possível aplicação na alimentação humana e no fabrico de material nitrogenado e síntese de aminoácidos usados em suplementos alimentares e na química fina (Sari, 2015).

4. PROPRIEDADES FUNCIONAIS TECNOLÓGICAS DAS PROTEÍNAS – APLICAÇÕES INDUSTRIAIS

Propriedades funcionais tecnológicas são definidas como qualquer propriedade que não seja atributo nutricional, e que influencia tanto o caráter sensorial dos alimentos, principalmente a textura, como o seu comportamento durante o preparo, processamento e armazenamento (Regitano-D'arce, 2006).

Estas propriedades são afetadas por fatores inerentes a natureza das proteínas como sua estrutura, tamanho molecular e composição em aminoácidos, além de fatores extrínsecos, como, o método de extração das proteínas, pH e força iônica do meio, presença de outros componentes, o que acaba por determinar o uso final das proteínas como ingrediente funcional tecnológico em alimentos. Desta forma, todas as propriedades funcionais das proteínas estão relacionadas com a hidrofilicidade e/ou hidrofobicidade destas biomoléculas, que esta intimamente ligada aos fatores acima mencionados (Boye e Barbara, 2012).

As propriedades funcionais tecnológicas associadas às proteínas podem ser divididas em 3 grupos principais, de acordo com a função que desempenham no produto final (Regitano-D'arce, 2006):

- Propriedades de hidratação que envolvem interações proteínas-água e incluem: a absorção e retenção de água, molhabilidade, solubilidade e viscosidade.
- Propriedades relacionadas a interação proteína-proteína, importantes na precipitação de proteínas (insolubilização), formação de gel e viscosidade.
- Propriedades de superfície, como tensão superficial, capacidade de emulsificação e formação de espuma.

Quanto às diversas propriedades funcionais apresentadas pelas proteínas, estas são desejáveis no processamento de diversos produtos industriais. A interação água-proteína torna as proteínas solúveis, sendo possível que estas desempenhem algumas de suas propriedades funcionais tecnológicas desejáveis industrialmente, como no processamento de massas e produtos de panificação, onde se deseja maior elasticidade, solubilidade e homogeneidade dos ingredientes na massa, o mesmo se aplica ao processamento de produtos cárneos, como os embutidos, onde a mistura de ingredientes deve resultar em uma massa elástica e com viscosidade adequada (Jideani, 2011, Regitano-D'arce, 2006).

Já a partir das interações proteína-proteína é possível desenvolver textura aos produtos cárneos e de panificação, associando viscosidade e incorporação de diferentes ingredientes de forma homogênea à formulação, mesmo que não miscíveis, onde somado as propriedades de superfície das proteínas, garante estabilidade e características desejáveis, como aeração e emulsificação, aos produtos cárneos, de panificação e bebidas (Damodaran *et al.*, 2010; Jideani, 2011).

A Tabela 5 apresenta as principais propriedades funcionais tecnológicas, assim como sua forma de ação na formulação de alimentos, associadas aos diferentes produtos proteicos obtidos a partir de farelo de soja.

Tabela 5 - Propriedades funcionais tecnológicas dos principais ingredientes derivado de proteína de soja e suas aplicações na indústria de alimentos.

Propriedade funcional	Modo de ação	Alimentos aplicados	Ingrediente proteico
Solubilidade	Interação proteína-água	Bebidas, produtos cárneos	Farinha, concentrado e isolado proteico
Viscosidade	Interação proteína-água e proteína-proteína	Sopas, molhos	Farinha e concentrado proteico
Absorção de água	Interação proteína-água	produtos cárneos	Farinha e concentrado proteico
Absorção de óleo	Interação gorduras livres-proteínas	produtos cárneos, pães e massas	Farinha, concentrado e isolado proteico
Coesão e adesão	Interação entre ingredientes e proteínas	produtos cárneos, pães e massas	Farinha, concentrado e isolado proteico
Formação de espuma	Propriedades de superfície	coberturas cremosas e sobremesas	Isolado Proteico
Formação de gel	Interação proteína-proteína	produtos cárneos, queijos	Concentrado e isolado proteico
Emulsificação	Propriedades de superfície	produtos cárneos, sopas e bolos	Farinha, concentrado e isolado proteico
Elasticidade	Interações proteína-proteína; proteína-água; propriedades de superfície	produtos cárneos, pães e massas	Farinha, Concentrado e Isolado proteico.

Fonte: Regitano-D'arce (2006); Jideani, (2011).

Conforme se pode notar na Tabela 5, a farinha desengordurada de soja (farelo de soja), o concentrado e isolado proteico de soja apresentam propriedades funcionais tecnológicas variadas, devido às proteínas vegetais presentes nestes ingredientes, que são utilizadas na produção de diferentes produtos alimentícios industrializados, com o intuito de associar a estes produtos diferentes características sensoriais, estabilidade e propriedades tecnológicas.

De forma semelhante ao observado na cadeia produtiva da soja, os farelos de macaúba quando processados podem gerar diferentes produtos e ingredientes proteicos com aplicação industrial, agregando assim valor não só aos farelos, mas aos produtos obtidos a partir destes, associando diversificação e viabilidade econômica à cadeia agroindustrial da macaúba.

6. PRINCIPAIS TECNOLOGIAS PARA A EXTRAÇÃO DE PROTEÍNAS VEGETAIS E OS PRODUTOS PROTEICOS OBTIDOS

De um modo geral, os processos industriais empregados para extração, isolamento ou fracionamento de biomoléculas de valor agregado de resíduos agroindustrial se baseiam nos princípios da química analítica. Portanto, industrialmente são realizadas modificações e adaptações às metodologias analíticas tradicionais, a fim de viabilizar o processo em grande escala e atingir objetivos industrial como máximo rendimento de extração, alta pureza, manutenção de funcionalidades, entre outros (Galanakis, 2012).

Desta forma, a literatura reporta diferentes técnicas para determinação e extração de proteínas de diferentes fontes vegetais e animal, dentre estas, as técnicas mais usuais para extração de proteínas de matrizes vegetais compreendem a extração química; em meio aquoso alcalino, ácido, salino e com solventes orgânicos e a extração enzimática; empregando diferentes tipos de hidrolases. Dependendo da técnica empregada e dos tratamentos dados aos extratos obtidos, diferentes produtos podem ser produzidos, com diferentes teores de pureza e aplicações.

O processo de extração química é o mais comumente utilizado ao nível industrial para a extração de proteínas de matrizes vegetais e farelos de oleaginosas, devido à versatilidade, facilidade e ao custo operacionais. No entanto, a extração enzimática vem ganhando espaço, principalmente devido ao barateamento da produção de enzimas em larga escala, além disso, o emprego de enzimas em processos industriais associa especificidade, e por isso, bons rendimentos com mínima geração de efluentes poluentes, sendo um processo mais sustentável (Boye e Barbara, 2012, Damodaran *et al.*, 2010).

6.1. Extração Química

O processo que emprega a extração química em meio alcalino ou ácido tem por objetivo extrair as proteínas de uma matriz sólida por solubilização das mesmas em meio aquoso, manipulando o pH da solução de extração fora do ponto isoelétrico (pI) das proteínas, ou seja, em pH onde apresentam maior solubilidade. O pI é a região de pH onde a solubilidade da proteína é mínima, devido a neutralização das cargas superficiais global da mesma, ou seja, a proteína, em determinado $\text{pH} = \text{pI}$, apresenta-se com cargas positivas e negativas, associadas a molécula, iguais (Boye e Barbara, 2012, Damodaran *et al.*, 2010).

De um modo geral, a maioria das proteínas vegetais apresentam maior solubilidade na faixa de pH alcalino, devido ao maior teor de aminoácidos do tipo ácido aspártico e ácido glutâmico compondo as proteínas de origem vegetal. Adicionalmente, soluções salinas também são utilizadas para maximizar o rendimento de extração em meio alcalino, devido ao fenômeno de salting-in que promove a solubilização das proteínas em meio salino neutro de baixa concentração (inferior a 0,5 M). O fenômeno contrário, de salting-out ou precipitação proteica, ocorre na presença de soluções salinas neutras e sais bivalentes em altas concentrações (acima de 1 M). Os principais solventes usados nestes processos são NaCl, NaOH, Na_2SO_4 , Na_2CO_3 , além de MgCl_2 e CaCl_2 (Boye e Barbara, 2012).

Os fenômenos descritos acima, da mesma forma que o ponto isoelétrico, altera o equilíbrio iônico das proteínas favorecendo ou não a solvatação das moléculas com consequência sobre a solubilidade da mesma no meio aquoso de extração (Boye e Barbara, 2012; Chiesa e Guanansounou, 2011).

Para a extração química, a literatura reporta a importância do controle de alguns parâmetros de processo que influenciam na extração das proteínas como, razão sólido:solução de extração (faixa entre 1:5 a 1:20 (m/v)), pH (faixa entre 8 a 11 - extração alcalina e pH inferior a 4 - extração ácida), tempo de extração (30 a 180 minutos), agitação do sistema e temperaturas de extração de até 65°C (Boye e Barbara, 2012; Damodaran *et al.*, 2010).

Contudo, dependendo do produto proteico que se deseja obter, o objetivo do processo de extração pode ser a solubilização das proteínas da matriz sólida na solução de extração (isolado proteico), ou a insolubilização das proteínas e a extração de outros componentes da matriz solúveis em meio aquoso (concentrado proteico). Qualquer que seja o objetivo, os extratos obtidos podem passar por processos posteriores de separação e purificação que envolve centrifugação, filtração, secagem, precipitação por solventes orgânicos ou no ponto isoelétrico, entre outros. A Figura 2 apresenta o fluxograma dos diferentes processos químicos de extração de proteínas e seus produtos.

6.2. Extração Enzimática

Outro processo para a extração de proteínas de matrizes vegetais é a extração enzimática que emprega enzimas hidrolíticas ao invés de reagentes químicos, e por isso, é considerado um processo mais eficiente, rápido e ambientalmente sustentável. A principal vantagem no uso de enzimas é que as reações ocorrem em condições moderadas de temperatura e pH, apresentam maior especificidade, e por isso, são mais eficientes, reduzindo o risco de ocorrência de reações paralelas indesejáveis e formação de subprodutos no processo de extração o que acaba por diminuir o rendimento e dificulta a purificação (Chiesa e Guanansounou, 2011).

A escolha das enzimas adequadas para a extração das proteínas depende da composição da matéria prima e dos produtos proteicos que deseja-se obter ao final do processo. Desta forma, se o objetivo é obter isolado proteico, as enzimas mais usadas para a extração das proteínas são as celulasas, amilases e pectinases, cujo objetivo principal é degradar partes da matriz vegetal, ou seja, fibras e carboidratos, expondo as proteínas para uma extração mais eficiente com consequente aumento do rendimento e qualidade das proteínas (Boye e Barbara, 2012).

Contudo, se o objetivo do processo industrial é obter hidrolisado proteico, as enzimas comumente utilizadas são proteases como a tripsina e quimotripsina de origem animal, alcalase de origem microbiana, papaína, bromelina e ficina de origem vegetal, além de diversos extratos comerciais enzimáticos, que possuem a função de hidrolisar as proteínas presentes na matriz e facilitar a extração dos fragmentos proteicos. O hidrolisado proteico também pode ser obtido a partir do isolado proteico, quando as proteases atuam como

modificador das proteínas, e não mais como agente de extração de proteínas (Boye e Barbara, 2012; Chiesa e Guanansounou, 2011).

Para a maioria dos processos de extração de proteínas por método enzimático, a literatura reporta o controle de parâmetros de processos como a concentração de enzima em relação ao seu substrato, na faixa de 1 a 5% (massa enzima/massa matriz a ser tratada), a proporção sólido:solução de extração, entre 1:5 a 1:50, o pH e a temperatura do sistema de extração, entre 8 - 10 e 40 a 70 °C, respectivamente, e tempo de extração variando entre 1 hora e 4 horas, dependendo dos objetivos do processo, atividade e tipo de enzima (Boye e Barbara 2012; Sari, 2015). Obviamente, os produtos obtidos a partir dos diferentes processos de extração enzimática possuem características e aplicações diferentes. A Figura 2 apresenta um fluxograma que descreve e resume os diferentes processos para a extração e obtenção dos diferentes produtos proteicos a partir de farelo de oleaginosas.

Figura 1 - Fluxograma dos processos de extração de proteínas a partir do farelo de oleaginosas e respectivos produtos proteicos obtidos (Adaptado a partir de Liu *et al.*, 2016).

Conforme nota-se na Figura 2, os diferentes processos para extração de proteínas compreendem diversas etapas e parâmetros que controlam não só o processo, mas a qualidade e características do produto final. Além disso, dependendo do teor de proteínas na matéria-prima, visando máximo rendimento em proteínas, os processos de extração podem ser conduzidos em mais de uma etapa na matéria-prima.

Neste sentido, é importante mencionar que são escassos na literatura, trabalhos que reportam o aproveitamento dos farelos de macaúba para obtenção de produtos proteicos com aplicação industrial em geral. Portanto, frente ao potencial dos farelos de macaúba como fonte de proteínas vegetais, é de grande relevância estabelecer estudos que viabilizem o aproveitamento industrial destes resíduos como opção alternativa de proteínas vegetais, além da soja.

É importante destacar, que além dos processos de extração de proteínas apresentados na Figura 2, outros métodos para a extração e purificação de proteínas de matrizes vegetais vêm sendo investigados e utilizados, como é o caso da extração supercrítica empregando vapor de água em baixa pressão e temperatura entre 100° C e 373° C, aproveitando a baixa constante dielétrica e polaridade da água nestas condições, para simular características de um solvente orgânico e promover a extração das proteínas e outros compostos específicos dos farelos de oleaginosas, ou da extração líquido-líquido utilizando micelas orgânicas reversas, em sistemas bifásicos, com partículas de proporções nanométricas cuja superfície possui a função de atrair as proteínas e assim recupera-la de uma fase líquida (Galanakis, 2012; Boye e Barbara, 2012).

Entretanto, os processos emergentes de extração ainda não possuem aplicação na indústria de alimentos, sendo mais empregados na extração de proteínas aplicadas à indústria farmacêutica e de cosméticos (Boye e Barbara, 2012).

Conforme apresentado na Figura 2, os principais produtos proteicos obtidos a partir dos processos enzimáticos e químicos de extração de proteínas de farelos de oleaginosas são: a farinha proteica, com teor de proteínas de até 65%; o concentrado proteico, com teor de proteínas entre 65 e 80%; o isolado proteico, com teor de proteínas acima de 90%; além da proteína texturizada e do hidrolisado proteico que podem ser obtidos a partir do processamento dos produtos proteicos anteriormente mencionados (Boye e Barbara, 2012). Os diferentes produtos apresentam propriedades e aplicações diferentes do ponto de vista nutricional e industrial.

6.3. Farinha Proteica

A farinha proteica é o produto obtido a partir da secagem, moagem e seleção granulométrica do farelo. As farinhas proteicas devem atender as seguintes especificações: tamanho de partícula de no mínimo 74 microns, composição aproximada de 42 a 50% de proteínas, mínimo de 10% de umidade, sendo o teor em fibras, carboidratos e cinzas variável, conforme a matéria prima oleaginosa de acordo com Regitano-D'arce, (2006).

As farinhas são utilizadas como base para a produção de concentrados, isolados e hidrolisados proteicos. Contudo, podem ser utilizadas industrialmente na forma pura ou adicionadas à farinha de trigo, com objetivo de enriquecimento proteico, sendo também empregadas com o objetivo de aumentar a estabilidade e a absorção de água dos produtos processados, aumentando a vida de prateleira dos mesmos. Em geral, as farinhas proteicas possuem um custo que representa apenas 10% do custo total para a produção de isolado proteico, sendo uma opção proteica barata (Damodaran *et al.*, 2010; Regitano-D'arce, 2006).

6.4. Concentrado Proteico

É o produto que resulta da insolubilização das proteínas, juntamente com as fibras insolúveis do farelo em meio aquoso. No processo de obtenção de concentrado proteico, apenas os componentes solúveis em meio aquoso são extraídos do farelo, principalmente carboidratos e sais.

Para insolubilizar as proteínas em meio aquoso é de fundamental importância conhecer o ponto isoelétrico (PI) da maioria das proteínas que constituem o farelo. De um modo geral, as proteínas das oleaginosas possuem o PI em pH abaixo de 5. Logo, a solução aquosa de extração deve ter seu pH ajustado para que o PI das proteínas seja atingido. Assim, após a extração dos componentes solúveis do farelo, em meio aquoso, é possível recuperar a fase sólida que constitui o concentrado proteico.

Quando seco, o concentrado proteico pode conter cerca de 70% de proteínas e 15 a 20% de fibras insolúveis, as proporções podem variar de acordo com a composição da matéria prima oleaginosa. Devido a composição rica em proteínas e polissacarídeos, os concentrado proteicos apresentam propriedades funcionais tecnológicas de emulsificante, absorção de água, coesão e adesão, e por isso são muito utilizados na indústria de processamento de carnes.

Os concentrados proteicos podem ser usados em teores de até 5% na mistura de emulsões cárneas como os embutidos de um modo geral, melhorando o aspecto final do produto, conferindo textura sem incorporação de sabor, substituindo parcialmente a carne nas formulações, resultando em menor custo do produto final (Boye e Barbara, 2012; Regitano-D'arce, 2006).

Os concentrados proteicos também podem ser utilizados na indústria de alimentos como fortificantes proteicos, principalmente em formulações de produtos livre de proteína animal. São usados ainda como base para a produção de hidrolisados proteicos. Na indústria de panificação são adicionados como ingrediente para facilitar a formação de gel e melhorar a elasticidade da massa (Jideani, 2011; Regitano-D'arce, 2006).

6.5. Isolado Proteico

É um produto essencialmente proteico, contendo cerca de 90% de proteínas, sendo todos os demais componentes que constituem o farelo separados da fração proteica. Devido sua composição é considerado um produto de alto valor agregado e destinado para aplicações

nobres na indústria. A produção de isolado proteico consiste na extração das proteínas dos farelos para um meio líquido onde as proteínas são solúveis.

Desta forma, o pH da solução de extração deve ser ajustado fora do PI das proteínas, em geral, para as proteínas de oleaginosas pH em torno de 8,5 é empregado. Juntamente com as proteínas são extraídos outros componentes solúveis em soluções aquosas como sais e carboidratos solúveis. Portanto, após a extração, a fase líquida, que contem as proteínas solubilizadas, é submetida a processos de recuperação e purificação das proteínas, empregando diferentes técnicas como o ajuste do pH do extrato até o PI das proteínas, onde estas serão precipitadas, o uso de solventes orgânicos, a microfiltração e a ultrafiltração (Boye e Barbara, 2012; Miranda, 2012).

Industrialmente, a produção de isolado proteico pode ser diversificada, principalmente devido ao processo de recuperação e purificação empregado, visando agregar valor nutricional e minimizar a presença de antinutricionais, assim, quando o objetivo é obter isolado proteico para fins alimentícios, o processo mais usado é o de recuperação por precipitação no PI, empregando soluções de NaOH ou HCl para ajuste do pH do extrato. Entretanto, os processos de recuperação por microfiltração, ultrafiltração e em solventes orgânicos são utilizados para produzir isolado proteico com aplicação na indústria de fármacos, cosméticos ou alimentos para fins especiais (Boye e Barbara, 2012; Miranda, 2012; Regitano-D'arce, 2006).

De um modo geral, o isolado proteico é empregado como emulsificante na indústria de processamento de carne, aumentando o rendimento do processo, e também como agente gelificante para melhorar a textura de produtos substitutos de carne (Jian *et al.*, 2016). Além disso, também é utilizado na suplementação alimentar e devido seu alto teor em proteínas e pureza, também serve de matéria prima para a indústria de fármacos e cosméticos, além de servir como base para a produção de hidrolisados proteicos.

6.6. Hidrolisado Proteico

O hidrolisado proteico é um produto com alto grau de pureza, constituído por proteínas, mas principalmente peptídeos e aminoácidos, obtidos a partir da hidrólise das proteínas que constituem o farelo. Por este motivo, o hidrolisado geralmente é considerado um produto proteico “modificado” ou “transformado”, pois as proteínas originalmente presentes no farelo são transformadas a peptídeos ou aminoácidos, o que caracteriza o produto como de alto valor agregado e utilizado industrialmente para produção de produtos específicos e especiais.

A hidrólise proteica consiste no rompimento das ligações peptídicas das proteínas, liberando peptídeos de diferentes tamanhos e aminoácidos livres, sendo catalisada por ácidos e bases (hidrólise química) ou por enzimas (hidrólise enzimática). Entretanto, a hidrólise química é um processo pouco empregado, pois é de difícil controle, originando produtos com reduzida qualidade nutricional, devido à formação de substâncias tóxicas, como a lisino-alanina. Além disso, esse processo também pode destruir e causar rancemização de alguns aminoácidos como o triptofano, a lisina e a treonina (Miranda, 2012; Regitano-D'arce, 2006).

A hidrólise enzimática apresenta uma série de vantagens sobre hidrólise química, como a especificidade, o controle do grau de hidrólise, as condições moderadas de processo e,

ainda, a formação mínima de subprodutos indesejáveis, gerando maior rendimento e pureza do produto final (Ströher *et al.*, 2011; Miranda, 2012). A proteína hidrolisada apresenta algumas propriedades funcionais importantes e melhores às observadas para outros produtos proteicos, como a capacidade de absorção de gordura e a maior solubilidade. E devido a esta última característica que o processo de extração de proteínas de matrizes sólidas, empregando proteases, é eficiente e viável (Ströher *et al.*, 2011; Miranda, 2012).

Além disso, por ser constituído por peptídeos e aminoácidos livres, o hidrolisado proteico é considerado e utilizado como suplemento proteico, empregado diretamente em dietas especiais, ou como ingrediente em formulações de alimentos para fins especiais, como alimentos para a terceira idade, alimentos infantis, alimentos para desportistas, para o combate de má nutrição, doenças metabólicas, entre outras aplicações.

6.7. Proteína Texturizada

A proteína vegetal texturizada é produzida mediante o uso de um extrusor, a partir de produtos proteicos como a farinha proteica, apresentando geralmente um teor proteico de no mínimo 50% (Regitano-D'arce, 2006).

De acordo com Regitano-D'arce (2006) a extrusão é um processo pelo qual materiais amiláceos e proteicos tornam-se moldáveis em equipamento com aplicação e combinação de umidade, pressão, calor e atrito mecânico.

No processo de extrusão as proteínas nativas são desnaturadas, ocorrendo por isso a dissociação e afrouxamento das ligações ou pontes de hidrogênio, de dissulfeto, interações hidrofóbicas e eletrostáticas e aparecimento de novos alinhamentos e com isso novas estruturas e texturas são obtidas no produto final, com aumento das propriedades funcionais principalmente a solubilidade, capacidade de absorção de água e óleo e atividade emulsificante. A proteína vegetal texturizada, quando hidratada, é um produto com aparência semelhante a da carne em cor e textura, cujo teor proteico é mais elevado que o da carne bovina, apresentando ainda facilidades no armazenamento e conservação, quando comparado a carne animal (Jideani, 2011; Regitano-D'arce, 2006).

Devido suas propriedades funcionais tecnológicas como a capacidade de absorção de água e gordura, que conferem características semelhantes a da carne, a proteína texturizada é amplamente utilizada na indústria de alimentos e como alimento humano em substituição a carne (Jian *et al.*, 2016, Damodaran *et al.*, 2010). Industrialmente, a proteína texturizada pode ser misturada com a carne, em diferentes formulações, não afetando a aparência e textura do produto final. Desta forma, pode substituir até 20% da carne em produtos processados, sem necessidade de ajuste no sabor, podendo ainda conferir maior firmeza aos produtos, garantido maior retenção de gordura (Regitano-D'arce, 2006).

7. CONCLUSÃO

Diante do exposto, os frutos da macaúba podem ser considerados matérias primas com grande potencial para aplicação industrial, devido à variedade e qualidade dos produtos que podem ser obtidos e produzidos a partir de seus óleos e tortas, comparável a matérias primas consolidadas industrialmente, como a soja e a palma, diversificando e minimizando assim a pressão na competição pela produção e uso das matérias primas oleaginosas, seja para a produção de biocombustíveis, ingredientes para alimentação humana ou animal.

Além da excelente produtividade em óleos, as tortas geradas no processamento dos óleos apresentam apreciável composição em biomoléculas como, proteínas, fibras e carboidratos, que se soma à vantagem de não apresentarem fatores antinutricionais ou tóxicos, diferente da maioria das tortas geradas a partir de oleaginosas. Com destaque para as proteínas das tortas de macaúba, estas apresentam uma composição em aminoácidos essenciais e que atende aos limites desejáveis para um alimento protéico, segundo a FAO.

Desta forma, aplicando as técnicas de extração de proteínas já existentes e utilizadas para tortas de outras oleaginosas, estima-se que a produção de proteínas a partir das tortas da macaúba pode chegar a valores próximos e iguais à produtividade de proteínas obtidas a partir da soja, principal fonte para obtenção de proteínas de origem vegetal.

REFERÊNCIAS

- ABRAPALMA. Disponível em: <<http://www.abrapalma.org/pt/a-palma-no-brasil-e-no-mundo>>. Acesso em: 5 de Jun. 2016.
- AGUIEIRAS, E. C. G.; CAVALCANTI-OLIVEIRA, E. D.; CASTRO, A. M. DE; LANGONE, M. A. P.; FREIRE, D. M. G. Biodiesel production from *Acrocomia aculeata* acid oil by (enzyme/enzyme) hydroesterification process: Use of vegetable lipase and fermented solid as low-cost biocatalyst. **Fuel**, p.315–321. 2014.
- ALMEIDA, F. H. L. de. **Desenvolvimento, acúmulo de óleo e armazenamento de coco de macaúba**. 2014. 98f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – UNIMONTES, Montes Claro, MG, 2014.
- ARAÚJO, I. M. S.; GONDIM, T. M. S.; COSTA, M. L. M.; SUASSUNA, T. M. F.; E FEITOSA, R. M. Características Físico-químicas de Sementes de diferentes genótipos de amendoim. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, p. 870-872, jul. 2007.
- AYOOLA, P.B., ADEYEYE, A AND ONAWUMI, O.O. Chemical evaluation of food value of groundnut (*Arachi hypogaea*) seeds. **American Journal of Food and Nutrition**, v.2, n. 3, p. 55-57. 2012.
- AZEVEDO FILHO, J. A.; COLOMBO, C. A.; BERTON, L. H. C. Macaúba: palmeira nativa como opção bioenergética. **Pesquisa & Tecnologia**, v. 9, n. 2, jul./dez. 2012.
- BANASZKIEWICZ, T. Nutritional Value of Soybean Meal. Siedlce University, Natural Faculty, Poland. 2011. Disponível em: <<http://cdn.intechweb.org/pdfs/19972.pdf>>. Acesso em: 21 mai. 2016.

- BOYE, J. I. & BARBARA, C. Protein Processing in Food and Bioproduct Manufacturing and Techniques for Analysis. In: **Food and Industrial Bioproducts and Bioprocessing**. Edited by Nurhan Turgut Dunford, John Wiley & Sons, Ltd., 2012.
- CHIESA, S. & GNANSOUNOU, E. Protein extraction from biomass in a bioethanol refinery – Possible dietary applications: Use as animal feed and potential extension to human consumption. **Bioresource Technology**, v.102, p.427–436. 2011.
- COIMBRA, M.C.; JORGE, N. Proximate composition of guariroba (*Syagrus oleracea*), jerivá (*Syagrus romanzoffiana*) and macaúba (*Acrocomia aculeata*) palm fruits. **Food Research International**, v. 44, p. 2139–2142. 2011.
- DAMODARAN, S.; PARKIN, N.L.; FENNEMA, O. R. **Química de Alimentos**. 4. ed. Porto Alegre: Editora Artmed, 2010.
- DESSIMONI-PINTO, N. A. V.; SILVA, V. M. da; BATISTA, A. G.; VIEIRA, G.; SOUZA, C. R. de. DUMONT, P. V.; SANTOS, G. K. M dos. Características físico-químicas da amêndoa de Macaúba e seu aproveitamento na elaboração de barras de cereais. **Alim. Nutr.** v.21, n.1, p. 79-86, Araraquara, SP jan./mar. 2010;
- FAO. The State of Food Insecurity in the World 2015. In: MEETING THE 2015 INTERNATIONAL HUNGER TARGETS: TAKING STOCK OF UNEVEN PROGRESS, Roma. 2015.
- FERREIRA, A. N.; SANTOS, C. P. A. DOS; COSTA, G. L. DE A.; GEBARA, K. S. Utilização do extrato de bociúva (*acrocomia aculeata*) como um alimento funcional do tipo “shake”. **Interbio**, v.7, n.1. 2013.
- FREITAS, J. B.; FERNANDES, D. C.; CZEDER, L. P.; LIMA, J. C. R.; SOUSA, A. G. O.; NAVES, M. M. V. Edible seeds and nuts grown in Brazil as sources of protein for human nutrition. **Food and Nutrition Sciences**, v.3, p. 857-862, 2012.
- GALANAKIS, C.M. Recovery of high added-value components from food wastes: Conventional, emerging technologies and commercialized applications. **Trends Food Sci. Technol.**, v.26, p.68–87, 2012.
- HIANE, P. A.; MACEDO, M. L. R.; SILVA, G. M.; NETO, J. A. B. Chemical and nutritional evaluation of kernels of bociuva, *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas, v.26, n.3, p. 683-689, jul./set. 2006.
- KRUSE, J. Estimating demand for agricultural commodities to 2050. **Report of Global Harvest Initiative**, 2010.
- JIAN, H.; QIAO, F.; YANG, P.; GUO, F.; HUANG, X.; ADHIKARI, B. & CHEN, J. Roles of soluble and insoluble aggregates induced by soy protein processing in the gelation of myofibrillar protein. **International Journal of Food Science and Technology**, v.51, p.480–489, 2016.
- JIDEANI, V. A. Functional Properties of Soybean Food Ingredients in Food Systems, Soybean - Biochemistry, Chemistry and Physiology. In: Tech 2011. Disponível em: <<http://www.intechopen.com/books/soybean-biochemistry-chemistry-and-physiology/functional-propertiesof-soybean-food-ingredients-in-food-systems>. 2011>. Acesso em: 21 abr. 2015.
- LESCANO, C. H.; OLIVEIR, I. P.; SILVA, L. R.; BALDIVIA, D. S.; SANJINEZ-ARGANDONA, E. J.; ARRUDA, E. J.; MORAES, I. C. F.; E LIMA, F. F. Nutrients contents, characterization and oil extraction from *Acrocomia aculeate* (Jacq.) Lodd fruits. **African Journal of Food Science**, v. 9, n.3, p. 113-119, mar. 2015.

- LIU, J; GASMALLA, M.A.A; LI, P.; YANG, R. Enzyme-assisted extraction processing from oilseeds: Principle, processing and application. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 35, 184–193, 2016.
- MICHELIN, S.; PENHA, F. M.; SYCHOSKI, M. M.; SCHERER, R. P; TREICHEL, H.; VALERIO, A.; LUCCIO, M.D.; OLIVEIRA, D. DE.; OLIVEIRA, J. V. Kinetics of ultrasound-assisted enzymatic biodiesel production from Macauba coconut oil. *Renewable Energy*, 76, p. 388-393. 2015.
- MINEIRO, S. A. L. **Fibra Alimentar: composição, métodos e implicações alimentares.** 2014. 97f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia e Segurança Alimentar) - Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2014.
- MIRANDA, L. C. **Obtenção e caracterização de hidrolisados de proteínas de farelo de soja.** 2012. 127f. Dissertação (Mestrados em Engenharia Química), Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, 2012.
- MUNHOZ, C. L. **Elaboração de barras de cereal com bocaiuva.** 2013. 105f. Tese (Doutorado em Saúde e Desenvolvimento) - Universidade Federal de Mato Grosso, Campo Grande, MT, 2013.
- NOBRE, D. A. C.; TROGELLO, E.; BORGHETTI, R. A.; DAVID, A.M.S. S. Macaúba: palmeira de extração sustentável para biocombustível. *Colloquium Agrariae*, v. 10, n.2, p.92-105, jul./dez. 2014.
- PEREIRA, J. H. B. **Valor nutritivo da Torta da Polpa da macaúba (*Acrocomia aculeata*) para suínos em crescimento na região de Brasília.** 2013. 72f. Dissertação (Mestrado em Ciências Animais) - Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2013.
- PIGHINELLI, A. L. M. T, PARK, K.J.; RAUEN, A. M.; BEVILAQUA, G.; FILHO, J. A. G. Otimização de prensagem a frio de grãos de amendoim em prensas continua tipo expeller. *Ciência e tecnologia de alimentos*, Campinas, SP, n. 28, p. 66-71, dez 2007.
- REGITANO-D'ARCE, M. A. B. Produtos Proteicos de Soja. In: **Fundamentos de Ciência e Tecnologia de Alimentos.** Editado por Oetterer, M; Regitano-d'Arce, M. A. B; Spoto, M. H. F. 2006.
- REVELLO, C. Z. P. **Avaliação do valor nutricional de resíduos do processamento da macaúba (*acrocomia aculeata*) e de seus produtos de Bioconversão.** 2014. 81f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) - Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS, 2014.
- RODRIGUES, I. M.; COELHO, J. F. J.; CARVALHO, M. G. V. S. Isolation and valorization of vegetable proteins from oilseed plants: Methods, limitations and potential. *Journal of Food Engineering*, n.109, p.337–346, 2012.
- SARI, Y. W. **Biomass and its potential for protein and amino acids: valorizing agricultural by-products.** 2015. 146f. PhD thesis, Wageningen University, 2015.
- SCHERER, R. P. **Produção enzimática de ésteres etílicos em sistema livre de solvente em banho de ultrassom empregando óleo do fruto de macaúba (*acrocomia aculeata*) e óleo de fritura como substratos.** 2015. 210f. Tese (Dotourado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI - Campus de Erechim, RS, 2015.
- SILVA, A. M.; OLIVEIRA, R. L.; RIBEIRO, O.L.; BAGALDO, A.R.; BEZERRA, L.R.; CARVALHO, S.T.; ABREU, C.L. & LEÃO, A.G. Valor nutricional de resíduos da agroindústria para alimentação de ruminantes. *Comunicata Scientiae*, v.5, n.4, p. 370-379, 2014.

- STRÖHER, R.; STENZEL, M.; PEREIRA, N. C.; ZANIN, G. M. Enzymatic extraction of protein from toasted and not toasted soybean meal. **Procedia Food Science**, v.1, p.463 – 469, 2011.
- TACO, **Tabela Brasileira de Composição de alimentos**, 4ª Edição revisada e ampliada, UNICAMP, Campinas-SP, 2011.
- TEXEIRA, U. H. G.; SIMIONI, T. A.; PINA, D. S.; GOMES, F. J.; PAULA, D. C. de; BOTINI, L. A. Potencial de utilização de co-produtos agroindustriais para suplementos. **Revista eletrônica nutritime**, v.11, n. 02, p. 3363–3386 mar/abr. 2014.
- VEREDIANO, F. C. **Aproveitamento da torta residual da extração do óleo da Polpa de Macaúba para fins alimentícios**. 2012. 114f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, M.G., 2012.
- WU, G.; FANZO, J.; MILLER, D.D.; PINGALI, P.; POST, M.; STEINER, J. L. & THALACKER-MERCER, A. E. Production and supply of high-quality food protein for human consumption: sustainability, challenges, and innovations. **Ann. N.Y. Acad. Sci.**, v.1321, p. 1–19, 2014.
- WWF. The growth of Soy: Impacts and Solutions. In: **WWF-INTERNATIONAL**, Gland, Suíça. 2014.

DEMAND OF VEGETABLE PROTEIN: POTENTIALITIES AND DIFFERENTIAL OF MACAÚBA BRANS (REVIEW)

ABSTRACT: *Some of the challenges of sustainable development aim to meet the needs of the population growth, as the demand for food and renewable fuels. Concomitantly, the inefficiency of agro industrial production processes results in huge waste and underutilization of this potential in different raw materials. Many waste generated in the production chain and food processing plants are still a source of protein, fiber and carbohydrates, however, this potential nutritional status is little used for human consumption, and most of the times, intended for animal feed or production of fertilizers. In this sense, this review aims to point out not only the nutritional potential, with respect to the composition of proteins associated with the waste generated in processing oilseeds, highlighting the of macaúba fruits but also provide technological strategies for recovery of proteins in waste, in order to make them available in a sustainable way.*

Key words: Brans of macaúba; Agro industrial waste; Vegetable proteins.