

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA  
PRO-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU*  
MESTRADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

SELENE ATHENAS ESPINOZA MONTIEL

EFEITO DO TRATAMENTO TÉRMICO CONVENCIONAL E DO PROCESSO DE  
EXTRUSÃO SOBRE A QUALIDADE NUTRICIONAL DE ARROZ (*Oryza sativa*) E  
FEIJÃO (*Phaseolus vulgaris*)

PONTA GROSSA

2020

SELENE ATHENAS ESPINOZA MONTIEL

EFEITO DO TRATAMENTO TÉRMICO CONVENCIONAL E DO PROCESSO DE  
EXTRUSÃO SOBRE A QUALIDADE NUTRICIONAL DE ARROZ (*Oryza sativa*) E  
FEIJÃO (*Phaseolus vulgaris*)

Dissertação de Mestrado apresentada como  
requisito para obtenção do título de Mestre  
em Ciência e Tecnologia de Alimentos,  
Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Orientador: Prof. Dr. Ivo Mottin Demiate

PONTA GROSSA  
2020

M791 Montiel, Selene Athenas Espinoza  
Efeito do tratamento térmico convencional e do processo de extrusão sobre a qualidade nutricional de arroz (*oryza sativa*) e feijão (*phaseolus vulgaris*) / Selene Athenas Espinoza Montiel. Ponta Grossa, 2020.  
82 f.

Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos - Área de Concentração: Ciências e Tecnologia de Alimentos), Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Orientador: Prof. Dr. Ivo Mottin Demiate.

1. Digestibilidade in vitro. 2. Extrusão. 3. Grãos cozidos. 4. Qualidade nutricional. 5. Amido resistente. I. Demiate, Ivo Mottin. II. Universidade Estadual de Ponta Grossa. Ciências e Tecnologia de Alimentos. III.T.

CDD: 664.2

**TERMO DE APROVAÇÃO**


SELENE ATHENAS ESPINOZA MONTIEL

**EFEITO DO TRATAMENTO TÉRMICO CONVENCIONAL E DO  
PROCESSO DE EXTRUSÃO SOBRE A QUALIDADE NUTRICIONAL  
DE ARROZ (*Oryza sativa*) E FEIJÃO (*Phaseolus vulgaris*).**

Dissertação aprovada como requisito para obtenção do grau de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, da Universidade Estadual de Ponta Grossa, pela seguinte banca examinadora:

Orientador:

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Ivo Mottin Demiate - UEPG - PR

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Silvia Renata Machado Coelho - UNIOESTE - Cascavel - PR

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Luiz Gustavo Lacerda - UEPG - PR

Ponta Grossa, 18 de fevereiro de 2020.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por me permitir realizar o mestrado neste país, Brasil, e por tudo que Ele tem colocado em minha vida.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Ivo Mottin Demiate, pela confiança depositada em mim, por tudo que me ensinou, por todo apoio e compreensão desde que cheguei, se mostrou preocupado com meu desempenho acadêmico, desenvolvimento pessoal e bem-estar. Serei sempre grata por tudo.

Aos meus professores, por todo conhecimento transmitido.

A minha mãe, Aida, que apoiou minha decisão de viajar para realizar esse sonho e me encorajar todos os dias.

Ao meu noivo Patryck pelo amor, paciência e me incentivar cada dia, e por ter vindo me apoiar.

Ao meu melhor amigo Gian, por sua amizade e apoio, apesar da distância.

À Ana Bedin, pelo apoio incondicional, por ser minha companheira todos esses dias compartilhando seu conhecimento comigo, fazendo-me sentir que estou em família.

À UEPG e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela estrutura e oportunidade na realização do meu trabalho.

Ao C-Labmu e funcionários pelas diversas análises realizadas.

Aos funcionários do CTA, de modo especial a Denise de Souza Mendes, pela amizade, paciência e ajuda na realização das análises.

À Empresa Urbano Alimentos e à EMBRAPA PG-PR pela doação das amostras de arroz e feijão, respectivamente. De modo especial ao funcionário o Sr. Jose Luis Cabrera Diaz pela sua disposição.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento do Pessoal de Ensino Superior (CAPES) pela oportunidade e pelo suporte financeiro com a bolsa de mestrado.

## RESUMO

Na atualidade existem vários processos tecnológicos que estão se mostrando eficientes na obtenção de produtos alimentícios inovadores como o cozimento por extrusão, principalmente no processamento de matérias-primas amiláceas. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do tratamento térmico convencional (cozimento em água) e do processo de extrusão sobre a qualidade nutricional de arroz e feijão. Foram considerados neste estudo três subgrupos de arroz (polido, parboilizado e integral parboilizado) e dois grupos de feijão (gênero *Phaseolus* e gênero *Vigna*). Foram determinadas a composição proximal das amostras em cru, as propriedades térmicas e viscoamilográficas dos amidos. Na composição proximal, destaca-se o arroz integral parboilizado pela sua porcentagem de fibra alimentar (15%) e o feijão Fradinho pela porcentagem de proteínas (23%). Os teores de amido foram maiores no arroz (até 90%) e menores nos feijões (aproximadamente 50%). Nas propriedades viscoamilográficas (RVA) o arroz polido e feijão Fradinho mostraram maior pico de viscosidade e maior tendência a retrogradar, mostraram também maior variação de entalpia durante a gelatinização, no DSC. Na difração de raios X das amostras extrusadas não foi possível observar os picos característicos dos padrões A e C. Foi analisada a digestibilidade *in vitro* do amido das amostras depois do: cozimento em água, congelado-reaquecido e extrusado. Observou-se que o arroz depois do cozimento em água, congelado-reaquecido, e extrusado apresentou amido disponível à digestão entre 80% e 100%. Apenas o arroz parboilizado apresentou 2,5% de amido resistente (RS). Os feijões apresentaram porcentagens maiores de RS à digestão avaliada no momento do preparo do que após congelamento e reaquecimento. O feijão que apresentou maior teor de amido de lenta digestibilidade (SDS) foi o feijão Carioca no momento do preparo (34%) e o feijão Fradinho foi o que apresentou maior proporção de amido de rápida digestibilidade (RDS). Conclui-se que os diferentes processos de cocção influenciam na qualidade nutricional e na recomendação de consumo de acordo com o que o consumidor precisa.

Palavras-Chave: digestibilidade *in vitro*, extrusão, grãos cozidos, qualidade nutricional, amido resistente.

## ABSTRACT

Nowadays there are several technological processes that are proving to be efficient in obtaining innovative food products such as extrusion cooking, especially in the processing of starchy raw materials. The objective of this work was to evaluate the effect of conventional heat treatment (cooking in water) and of the extrusion process on the nutritional quality of rice and beans. Three subgroups of rice (polished, parboiled and brown) and two groups of beans (genus *Phaseolus* and genus *Vigna*). The proximate composition of raw samples, thermal and viscoamylographic properties of starches were also determined. In the proximal composition, the percentage of dietary fiber outstands for parboiled brown rice (15%) and the Fradinho bean had the highest protein content (23%). Starch contents were higher in rice (up to 90%) and lower in beans (approximately 50%). The viscoamylographic properties (RVA) of polished rice and Fradinho beans samples showed higher viscosity peak and higher tendency to retrograde, they also showed higher gelatinization enthalpy variation in DSC. In X-ray diffraction from extruded samples were not possible to observe the characteristic type A and C diffraction peaks. *In vitro* digestibility of starch from samples was analyzed after: cooking in water, frozen-reheated and extruded. It was observed that the rice after cooking in water, frozen-reheated and extruded presented starch available for digestion between 80% and 100%. The beans presented higher percentages of RS to the digestion evaluated at the time of preparation than after freezing and reheating. The bean that presented the highest slowly digestible starch (SDS) was *Carioca* in the digestion at the time of preparation (34%) and the *Fradinho* beans presented the highest level of rapidly digestible starch (RDS) in the two cooking processes. The different cooking processes have influenced the nutritional quality as well as the recommendation of use according to the consumer's needs.

Key words: *in vitro* digestibility, extrusion, cooked grains, nutritional quality, resistant starch.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura do grão de arroz.....	14
Figura 2 - Estrutura do grão de feijão.....	23
Figura 3 - Amostras de arroz dos diferentes subgrupos. ....	36
Figura 4 - Amostras de feijão dos diferentes grupos. ....	37
Figura 5 - Fluxograma das análises realizadas. ....	37
Figura 6 - Amostras de arroz cozido dos diferentes subgrupos.....	41
Figura 7 - Amostras de feijão cozido dos diferentes grupos. ....	42
Figura 8 - Extrusados de arroz dos diferentes subgrupos.....	43
Figura 9 - Extrusados de feijão dos diferentes grupos.....	43
Figura 10 - Perfil viscoamilográfico da farinha <i>in natura</i> e amido de arroz parboilizado .....	49
Figura 11 - Perfil viscoamilográfico da farinha <i>in natura</i> e amido de arroz polido.....	50
Figura 12 - Perfil viscoamilográfico da farinha <i>in natura</i> de arroz integral parboilizado.....	50
Figura 13 - Perfil viscoamilográfico da farinha <i>in natura</i> e amido de feijão Branco.....	51
Figura 14 - Perfil viscoamilográfico da farinha <i>in natura</i> e amido de feijão Carioca.....	51
Figura 15 - Perfil viscoamilográfico da farinha <i>in natura</i> e amido de feijão Fradinho.....	52
Figura 16 - Endotermas obtidas por DSC dos amidos de arroz parboilizado e arroz polido. ..	55
Figura 17 - Endotermas obtidos por DSC dos amidos das três variedades de feijão. ....	56
Figura 18 - Difração de raios X dos amidos de arroz parboilizado e polido.....	57
Figura 19 - Difração de raios X dos amidos das três variedades de feijão.....	57
Figura 20 - Difração de raios X das farinhas de extrusados de arroz.....	57
Figura 21 - Difração de raios X das farinhas de extrusados de feijão. ....	57
Figura 22 - Imagens de FEG para as farinhas <i>in natura</i> e extrusadas de arroz. ....	59
Figura 23 - Imagens de FEG para as farinhas <i>in natura</i> e extrusadas de feijão. ....	60



## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Composição nutricional por 100 g de arroz cru. ....	17
Quadro 2 - Conteúdo de vitaminas ( $\mu\text{g g}^{-1}$ , com 14% de umidade) em arroz integral e branco polido. ....	18
Quadro 3 - Aminoácidos essenciais do arroz polido (branco). ....	19
Quadro 4 - Classificação do arroz por teor de amilose e temperatura de gelatinização. ....	21
Quadro 5 - Composição nutricional por 100 gramas de feijão cru. ....	25
Quadro 6 - Aminoácidos essenciais do Feijão. ....	26
Quadro 7 - Escore químico da combinação de arroz (1 medida) + feijão (2 medidas) comparado à referência da WHO/FAO/UNU para a faixa 3-10 anos. ....	27
Quadro 8 - Polifenóis em algumas variedades de feijão. ....	29

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição proximal em base seca para as três amostras de arroz cru. ....	47
Tabela 2 - Composição proximal em base seca para as três amostras de feijões cru. ....	47
Tabela 3 - Propriedades de pasta das farinhas <i>in natura</i> de arroz e de feijão. ....	54
Tabela 4 - Propriedades de pasta dos amidos de arroz e de feijão. ....	54
Tabela 5 - Parâmetros da análise calorimétrica exploratória (DSC) dos amidos de arroz. ....	56
Tabela 6 - Parâmetros da análise calorimétrica exploratória (DSC) dos amidos de feijão. ....	56
Tabela 7 - Valores de absorção de óleo/água e solubilidade em água das farinhas de extrusados de arroz. ....	61
Tabela 8 - Valores de absorção de óleo/água e solubilidade em água das farinhas de extrusados de feijão. ....	61
Tabela 9 - Digestibilidade <i>in vitro</i> de arroz cozido, congelado-reaquecido e extrusado. ....	63
Tabela 10 - Digestibilidade <i>in vitro</i> de feijão cozido, congelado-reaquecido e extrusado. ....	63
Tabela 11 - Coeficiente de correlação de Pearson entre os parâmetros selecionados para as amostras de arroz. ....	64
Tabela 12 - Coeficiente de correlação de Pearson entre os parâmetros selecionados para as amostras de feijão. ....	66

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>13</b>
2.1	OBJETIVO GRAL .....	13
2.2	OBJETIVO ESPECÍFICO.....	13
<b>3</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA .....</b>	<b>14</b>
3.1	ARROZ .....	14
3.1.1	Produção de Arroz.....	15
3.1.2	Consumo de Arroz.....	16
3.1.3	Valor Nutricional.....	16
3.1.4	Qualidade para Uso Industrial.....	19
3.2	FEIJÃO.....	22
3.2.1	Produção de Feijão .....	24
3.2.2	Consumo de Feijão .....	24
3.2.3	Caraterísticas Nutricionais .....	24
3.2.4	Qualidade na Indústria.....	29
3.3	EXTRUSÃO.....	31
3.4	AMIDO RESISTENTE .....	33
<b>4</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>36</b>
4.1	MATERIAL .....	36
4.2	MÉTODOS.....	37
4.2.1	Composição Proximal .....	38
4.2.2	Extração de Amido .....	38
4.2.3	Teor de Amilose .....	39
4.2.4	Propriedades de Pasta.....	39
4.2.5	Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC) .....	40
4.2.6	Difração de Raios X .....	40
4.2.7	Microscopia Eletrônica de Varredura (FEG) .....	40
4.2.8	Cozimento das amostras em água .....	40
4.2.9	Processamento por extrusão .....	42
4.2.9.1	Condicionamento da umidade .....	42
4.2.9.2	Índice de solubilidade em água (ISA) e absorção de água.....	43

4.2.9.3	Absorção de gordura (AG).....	44
4.2.10	Digestibilidade <i>In Vitro</i> do Amido.....	44
4.2.11	Análise Estatística .....	45
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>46</b>
5.1	COMPOSIÇÃO PROXIMAL.....	46
5.2	PROPRIEDADES DE PASTA.....	49
5.3	CALORIMETRIA EXPLORATÓRIA DIFERENCIAL (DSC).....	55
5.4	DIFRAÇÃO DE RAIOS X.....	57
5.5	MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (FEG).....	58
5.6	ABSORÇÃO DE GORDURA (AG) E ÁGUA E ÍNDICE DE SOLUBILIDADE EM ÁGUA (ISA) DOS EXTRUSADOS .....	61
5.7	DIGESTIBILIDADE <i>IN VITRO</i> .....	62
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>72</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>73</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O arroz e feijão são alimentos consumidos diariamente no Brasil, há muitos anos, principalmente na refeição principal. Várias pesquisas demonstram que a combinação feijão com arroz cozidos em água encontra-se relacionada a hábitos alimentares tradicionais dos brasileiros.

Uma nutrição adequada envolve diferentes aspectos entre eles, os hábitos e as tradições. Importante para o crescimento e desenvolvimento assim como para o desempenho das atividades diárias dos indivíduos.

O amido é a principal fonte de energia da dieta humana pelo aporte de glicose. O interesse nas frações do amido que apresentam digestibilidade mais lenta ou até mesmo nula tem aumentado entre os consumidores já que algumas dessas frações podem atuar como fibras para o organismo. O amido resistente tem propriedades semelhantes às fibras e traz benefícios fisiológicos em humanos, podendo resultar em redução de risco de diversas doenças. O amido resistente auxilia, na redução do índice glicêmico, pois retarda o esvaziamento gástrico, devido à sua capacidade de retenção de água e aumenta a saciedade em menor taxa de absorção da glicose sanguínea, muito importante para pessoas com problemas de obesidade e de outras doenças metabólicas como diabetes.

Na forma nativa o uso do amido de diversas espécies amiláceas pela indústria alimentícia é mais restrito por este apresentar algumas limitações tecnológicas, tais como: insolubilidade ou pouca absorção em água fria, em alguns casos, instabilidade frente a ciclos de congelamento e descongelamento e tendência a retrogradação. Estas desvantagens podem ser compensadas por intermédio de modificações químicas ou alterações na estrutura como a extrusão, que também pode melhorar a disponibilidade de nutrientes na alimentação.

Atualmente muitas pesquisas estão sendo desenvolvidas para a obtenção de fórmulas de alimentos mais saudáveis e funcionais utilizando-se o processo de extrusão, obtendo assim maior possibilidade de diversificação de novos produtos, que atendam às necessidades dos consumidores, principalmente em relação à saúde. A farinha de arroz é um ingrediente atrativo para a indústria na produção de vários alimentos, incluindo a elaboração de extrusados, devido a suas qualidades como sabor suave e cor branca, sendo uma boa opção para obter produtos livres de glúten. O feijão, geralmente é adquirido na forma de grãos inteiros secos e crus, demanda longo tempo para seu preparo culinário, diminuindo sua competitividade em relação aos produtos semiprontos ou prontos para o consumo.

Existem muitas preparações culinárias elaboradas com a combinação desses grãos processados de maneira convencional com limitado uso na indústria. Há uma crescente preocupação com o nível nutricional e a digestibilidade dos produtos consumidos diariamente. Dessa forma uma questão muito importante a ser respondida é: Qual será a maneira mais recomendada de consumo de arroz e feijão considerando-se a tradição popular e o processamento industrial?

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GRAL

Avaliar o efeito do tratamento térmico convencional e do processo de extrusão sobre a qualidade nutricional de arroz e feijão

### 2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

Determinar a composição proximal de arroz e feijão *in natura*.

Analisar as propriedades viscoamilográficas das farinhas *in natura* e dos amidos isolados de arroz e de feijão.

Analisar as propriedades térmicas e difração de raios X dos amidos de arroz e de feijão.

Realizar análises de microscopia eletrônica de varredura para identificar as mudanças na estrutura da farinha *in natura* após o processo de extrusão.

Analisar a digestibilidade *in vitro* do amido de arroz e de feijão após cozimento em água e cocção por extrusão.

Analisar o efeito do congelamento e reaquecido na digestibilidade *in vitro* do amido de arroz e de feijão cozidos em água.

### 3 REVISÃO DA LITERATURA

#### 3.1 ARROZ

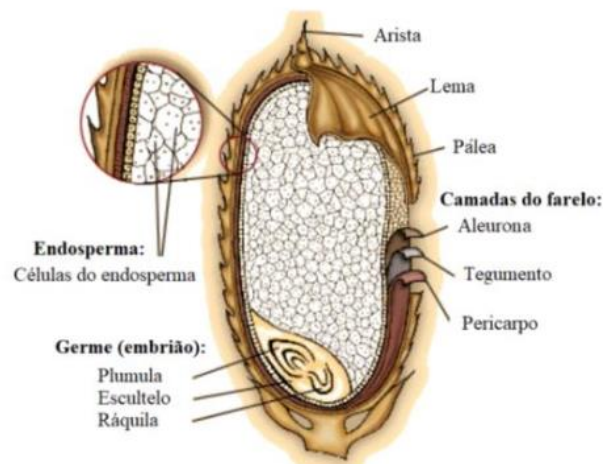
A história do arroz traz os primeiros registros nos países asiáticos. Os primeiros registros de uso no Brasil, pelos indígenas, ainda não estão definidos. Mas o arroz, atualmente, é produzido em todo o Brasil, por meio de diferentes sistemas de cultivo, e parte de uma grande diversidade de preparos e combinações na gastronomia brasileira (CONAB, 2015).

Segundo Graner e Godoy (1962), o arroz é uma planta monocotiledônea, da família Poaceae (Gramíneas), gênero *Oryza* classificado como *O. sativa* L. Pode desdobrar-se em duas subespécies, *brevis*, que são grãos muito curtos, cultivadas no Oriente, e *communis* de duas variedades: *indica*, de grãos longos e *japonica*, com grãos curtos. O fruto, chamado grão, é do tipo cariopse, e está protegido por duas glumelas desenvolvidas da flor, conhecidas como a casca. Do ponto de vista comercial os produtos podem ser: arroz agulha, meio-agulha e cateto, diferenciadas pela cor da casca.

Conforme Vieira e Rabelo (2006), numa descrição mais recente, o arroz é o fruto-semente ou grão, cujo tegumento, está diretamente ligado ao pericarpo, que é a membrana que envolve o fruto. A casca, constituída pelas glumas e lema, envolve a estrutura do arroz, sendo removida durante o beneficiamento do produto para consumo obtendo assim diferentes tipos de arroz.

A Figura 1 amostra as principais partes na estrutura do grão de arroz.

Figura 1 - Estrutura do grão de arroz.



Fonte: Adaptada da Encyclopedia Britannica (2018).



Em função de beneficiamento, o arroz se classifica em três subgrupos: beneficiado polido, que é a forma mais consumida pela população brasileira e é obtido a partir do descasque e do polimento do grão integral adquirindo uma cor branca; parboilizado, que é submetido a um processo hidrotérmico que produz a gelatinização parcial e superficial do amido, sendo posteriormente seco, descascado e polido conseguindo assim uma cor levemente escura; e o arroz integral, aquele do qual somente a casca é retirada durante o processo de beneficiamento e tem uma cor ligeiramente café (SILVA; WANDER, 2014).

### 3.1.1 Produção de Arroz

No Estado do Paraná, a cultura do arroz foi introduzida para a abertura das áreas agrícolas, e com o tempo, foi perdendo espaço para culturas com maior liquidez e rentabilidade. Após o ano de 1960, o arroz começou a ser plantado em caráter comercial, e a partir de 1990, principalmente em áreas de várzea. O cultivo do arroz sequeiro no Paraná está desaparecendo, estando presente em pequenas áreas distribuídas em todo o Estado com destino ao autoconsumo (CONAB, 2015).

Durante vários anos, por meio de um programa de melhoramento, os produtores recorreram ao banco de recursos genéticos e avaliaram acessos de germoplasmas brasileiros procedentes da agricultura familiar e do exterior, com o objetivo de conhecer e selecionar genótipos de arroz de tipos especiais mais produtivos, com boas características agronômicas incluindo resistência ou tolerância a estresses bióticos e abióticos. Foram apresentados os resultados da avaliação morfo-agronômica, fenológica e culinária de 19 acessos de tipos especiais de arroz, considerados como os mais promissores dentre mais de 100 avaliados. Dentre os materiais avaliados, incluindo vários de cariópse de cor vermelha, demonstraram um grupo de acessos com potencial fonte de genes para características como porte de planta, resistência a doenças, principalmente à brusone, resistência ao acamamento, potencial produtivo, ciclo cultural e classe de grão (FONSECA et al., 2007).

Segundo dados do *United States Department of Agriculture* (USDA), no mercado internacional, a produção mundial de arroz base beneficiado aproximada de 487 milhões de t na Safra 2018/19 (CONAB, 2018).

O arroz, a soja e o milho correspondem a 92,4% de toda a safra nacional, correspondendo a 87,4% da área colhida em 2019. Produção nacional estimativa de arroz de 10 milhões de t. A safra de cereais, leguminosas e oleaginosas do Brasil concentra-se nas

regiões Centro-Oeste (45,2%) e Sul (33,2%), que somam quase 80 % da produção nacional (IBGE, 2019).

### 3.1.2 Consumo de Arroz

Segundo Ferreira et al. (2018), em sua pesquisa de campo com questionário estruturado de tipo fechado, realizado em nove capitais de Estados brasileiros, o comportamento dos consumidores pode ser influenciado pelo grau de instrução e pela renda familiar. Seus resultados mostram, por exemplo, que os consumidores brasileiros preferem grãos de arroz uniformes, translúcidos e longo-finos, sendo que 88,8% do arroz adquirido pelas famílias é do tipo polido; 1,5%, integral; e 9,4%, parboilizado. Os autores utilizaram o Critério de Classificação Econômica Brasil (CCEB), divulgado pela Associação Brasileira de Empresas de Pesquisa (ABEP), de 2015, considerando estrato socioeconômico A1 com renda familiar média mensal de R\$ 20.888,00 e estrato socioeconômico D-E com R\$ 768,00/mês. Detectou-se que nas famílias da classe A1 houve redução da aquisição de arroz em quase 60%, mas nas famílias de classe de renda C2, D e E aumentou em aproximadamente 40 %. Além disso, 10,4% tem preferência por congelar o arroz para ser consumido nos próximos dias e 89,6% não congela. Nas regiões metropolitanas de Goiânia-GO e de Cuiabá-MT, onde entrevistaram 595 pessoas, destacam, que o menor consumo foi de GO (61,4%) e MT (64,1%) para arroz, e GO (57,3%) e MT (62,6%) para feijão. Além disso a porcentagem de pessoas que consomem refeições fora de casa foi de 9,9% em Goiânia e 20,3% em Cuiabá. Observaram também que poucos produtos consumidos nos lanches são com derivados do arroz e feijão, sendo importante buscar produtos saudáveis que em sua elaboração sejam feitos com derivados do arroz e feijão. Outro dado interessante foi que em Mato Grosso a preferência é pelo arroz parboilizado, sendo que 11,0 % justificaram a escolha pelo melhor rendimento de panela, 22,2% porque os grãos ficam soltos e 66,7 % por ser mais nutritivo, o que indica que os consumidores têm preferência por grãos longos e finos, com aspectos translúcidos, com boa textura, cozimento em menor tempo, que os grãos expandam bem em volume e se apresentem soltos e macios, após o cozimento, e também depois de resfriados ou reaquecidos.

### 3.1.3 Valor Nutricional

O arroz é um dos cereais mais importantes na alimentação humana, e um dos mais consumidos no mundo. Possui características funcionais, tem minerais como zinco, magnésio entre outros e vitaminas como o complexo B, como mostra o Quadro 2. Além disso dá um bom aporte de carboidratos pois é um alimento essencialmente energético. Tanto o arroz branco quanto o arroz integral contêm um valor nutricional único. O arroz integral é uma boa fonte de fibras e, portanto, melhora a digestão. Devido ao seu alto teor nutricional e versatilidade de preparo, é utilizado em todas as cozinhas do mundo. A composição nutricional do arroz pode sofrer variações em função das diferentes formas de processamento do grão antes de ser oferecido ao consumidor, desde o tipo de beneficiamento, armazenamento, preparo e combinação com outros alimentos (VIEIRA; RABELO, 2006).

A composição nutricional dos diferentes tipos de arroz encontra-se no Quadro 1, e no Quadro 2, conteúdo de vitaminas no arroz integral e branco polido.

Quadro 1 - Composição nutricional por 100 g de arroz cru.

Alimento	Umidade (%)	Energia		Proteína (g)	Lipídeos (g)	Carboidratos (g)	Fibra Alimentar (g)	Cinzas (g)
		(kcal)	(kJ)					
Arroz, cru								
Arroz, integral	<b>12,2</b>	<b>360</b>	<b>1505</b>	<b>7,3</b>	<b>1,9</b>	<b>77,5</b>	<b>4,8</b>	<b>1,2</b>
Arroz, tipo 1	<b>13,2</b>	<b>358</b>	<b>1497</b>	<b>7,2</b>	<b>0,3</b>	<b>78,8</b>	<b>1,6</b>	<b>0,5</b>
Arroz, tipo 2	<b>13,2</b>	<b>358</b>	<b>1498</b>	<b>7,2</b>	<b>0,3</b>	<b>78,9</b>	<b>1,7</b>	<b>0,4</b>

Fonte: Adaptado da Tabela Brasileira Composição de alimentos TACO (2011).

Quadro 2 - Conteúdo de vitaminas ( $\mu\text{g g}^{-1}$ , com 14% de umidade) em arroz integral e branco polido.

<b>Vitamina</b>	<b>Arroz Integral</b>	<b>Arroz Branco Polido</b>
Retinol (A)	<b>0-0,11</b>	<b>0-traços</b>
Tiamina (B1)	<b>2,9-6,1</b>	<b>0,2-1,1</b>
Riboflavina (B2)	<b>0,4-1,4</b>	<b>0,2-0,6</b>
Niacina (B3)	<b>35-53</b>	<b>13-24</b>
Ácido pantotênico (B5)	<b>9-15</b>	<b>3-7</b>
Piridoxina (B6)	<b>5-9</b>	<b>0,4-1,2</b>
Biotina (B7)	<b>0,04-0,10</b>	<b>0,01-0,06</b>
Ácido fólico (B9)	<b>0,1-0,5</b>	<b>0,03-0,14</b>
Ciancobalamina (B12)	<b>0-0,004</b>	<b>0-0,0014</b>
Ácido p-aminobenzoico	<b>0,3</b>	<b>0,12-0,14</b>
A-tocoferol (E)	<b>9-25</b>	<b>Traços-3</b>

Fonte: Adaptado de Juliano e Bechtel (1985),

A qualidade nutricional de um alimento está estritamente relacionada com o teor de proteínas que o mesmo fornece, assim como das unidades fundamentais de todas as proteínas, os aminoácidos. Existem 20 diferentes tipos de aminoácidos, cada um com propriedades específicas. Estas moléculas orgânicas, apresentam grupos carboxila ( $-\text{COOH}$ ) e amino ( $\text{NH}_2$ ) que estão ligados a um único carbono, denominado de carbono alfa. Esse carbono liga-se ao grupo amino, ao grupo carboxila, a um átomo de hidrogênio e a um grupo variável, chamado grupo R ou cadeia lateral. Temos duas classificações, aminoácidos essenciais e não essenciais. Os não essenciais são aqueles que devem ser obtidos dos alimentos, porque o organismo não pode sintetizá-los, e são necessários para o ótimo funcionamento de nosso organismo e de cada reação química que nela acontece, eles são: lisina, leucina, isoleucina, metionina, treonina, triptofano, fenilalanina e valina, pode-se considerar também a histidina para as crianças. Uma proteína de alta qualidade é aquela que contém todos os aminoácidos essenciais, as proteínas de origem animal são de melhor qualidade do que só vegetais porque elas são deficientes em pelo menos um dos aminoácidos essenciais (FENNEMA; DAMODARAN; PARKIN, 2019).

O Quadro 3 mostra os aminoácidos essenciais presentes no arroz branco polido e o escore químico.

Quadro 3 - Aminoácidos essenciais do arroz polido (branco).

Aminoácidos	<sup>a</sup> ARROZ	<sup>b</sup> E.Q. aas ARROZ
Histidina	<b>18,16</b>	<b>1,1</b>
Isoleucina	<b>30,53</b>	<b>1,0</b>
Leucina	<b>62,36</b>	<b>1,0</b>
Lisina	<b>31,45</b>	<b>0,7</b>
Metionina + Cisteína	<b>27,16</b>	<b>1,1</b>
Fenilalanina + Tirosina	<b>71,41</b>	<b>1,7</b>
Treonina	<b>31,21</b>	<b>1,3</b>
Valina	<b>47,35</b>	<b>1,2</b>

Fonte: Adaptado de Silva (2017).

Nota: a: Perfil de aminoácidos essenciais (mg g<sup>-1</sup> proteína), b: Escore Químico de Aminoácidos (mg/g proteína amostra) / (mg g<sup>-1</sup> proteína padrão WHO/FAO/UNU, 2007).

De acordo com Vieira e Pereira (2004) na produção de farinha de arroz ocorrem mudanças nas propriedades físicas do grão, que outorgam novos usos e aplicações, além de manter as características nutricionais. A farinha de arroz é usada para fazer massas, pães e doces, entre outros produtos industrializados, além de adicionar muitas qualidades que outras farinhas não podem fornecer; é um dos componentes básicos de alimentos para pessoas com doença celíaca ou sensíveis ao glúten.

Segundo Nunes et al. (2017) a doença celíaca é uma enteropatia crônica relacionada à ingestão de glúten que pode apresentar manifestações extraintestinais não clássicas. Os autores apresentaram um caso clínico de um homem de 53 anos com sinais e sintomas que conduziram a diagnóstico de doença celíaca e sua recuperação clínica total foi atingida após instituição de uma dieta sem glúten, concluindo assim que com uma dieta sem glúten é possível reestabelecer a homeostasia e prevenir complicações a longo prazo.

### 3.1.4 Qualidade para Uso Industrial

O rendimento satisfatório de grãos inteiros, a aparência dos grãos translúcidos e de dimensões homogêneas são os parâmetros mais procurados pela indústria arroseira, porque a comercialização do produto rejeita grãos quebrados. Os fatores que influenciam nesta qualidade estão diretamente relacionados às características do amido, por isso é importante compreender o comportamento desse componente no processo de cozimento, resfriamento e produção de derivados. As classes comerciais estão definidas pelas dimensões dos grãos

inteiros, descascados e polidos, sendo considerados grãos longos e finos, aqueles com comprimento igual ou maior a 6,00 mm; espessura de até 1,9 mm; relação comprimento/largura deve ser maior que 2,75 mm; médios os que têm comprimento menor de 6,00 mm até 5,00 mm e grãos curtos, com comprimento menor que 5 mm. Todo arroz a ser comercializado é classificado em tipos, expressos numericamente. Desta forma o arroz Tipo 1 é aquele com menor percentual de defeitos, enquanto o Tipo 5 é o que apresenta maior percentual (BARBOSA, 2007; FONSECA et al., 2007).

Segundo Anacleto et al. (2015), novas abordagens permitem identificar genes-chave e marcadores bioquímicos implicados nas características de qualidade do arroz. A análise genética, baseada em marcadores moleculares, indica que o teor de amilose (AC), consistência do gel (GC) e temperatura de gelatinização (GT) estão estritamente relacionados e que são os fatores mais importantes da qualidade de cozimento e processamento dos grãos de arroz.

Bao et al. (2004) explicam que o conteúdo de amilose pode ser considerado um dos principais parâmetros para a qualidade tecnológica e de consumo do arroz. Características culinárias, como a textura, viscosidade, capacidade de absorção de água, e inchamento dos grãos, estão relacionadas diretamente a teores altos. Ou seja, quanto maior o teor de amilose, consegue-se obter grãos mais secos e soltos, mas que após o resfriamento endurecem. E quando os teores são menores, os grãos são macios, aquosos e pegajosos no cozimento, comportamento característico em certos cultivares de arroz.

Para Walter; Marchezan e Avila (2008), o arroz se caracteriza por uma porcentagem alta de amido (74,12 a 87,58 %). As propriedades viscoamilográficas de farinhas nativas e pré-gelatinizadas de arroz têm grande importância para sua aplicação na indústria de alimentos, que por vezes necessitam ou não de espessamento ou retenção de água sem o emprego de calor. Uma outra utilização do arroz e seus subprodutos é também orientada para o processamento de alimentos para bovinos, aves, peixes e suínos. Também o uso de resíduos agrícolas tem sido reportado para a fabricação de papéis, obtendo-se texturas muito especiais, desejadas por pintores e artistas. Apesar de serem testes de escala muito artesanais, existem mercados com um futuro aparentemente promissor para esse tipo de produto.

Segundo Silva e Ascheri (2009), a farinha de arroz pura extrusada com teor de umidade de 18%, temperatura de 160 °C e baixa rotação, resulta em um produto com características adequadas para uso como farinha instantânea, devido ao seu alto grau de solubilidade em água. A farinha de arroz extrusada com valores intermediários de umidade e temperatura apresenta características ideais para ser utilizada no preparo de sopas, tortas ou

outros alimentos, mas é necessário conservar alta viscosidade em temperatura acima da do ambiente.

Segundo relata Bergman (2019), considerando o teor de amilose, temperatura de gelatinização e comprimento do núcleo, podem ser classificados em: ceroso (0% - 4%); muito baixo (5% - 12%); baixo (12% - 20%); intermediário (20% - 25%); alto (25% - 33%), como está mostrado no Quadro 4, representando a classificação utilizada nos Estados Unidos.

Quadro 4 - Classificação do arroz por teor de amilose e temperatura de gelatinização.

CLASSIFICAÇÃO POR TEOR DE AMILOSE	TEMPERATURA DE GELATINIZAÇÃO		
	> 70 °C	70-74 °C	< 74 °C
Ceroso (0%)	Tipo ceroso (GC, GM, GL)		
Muito baixo (2%-12%)	Tipo Calamylow-201 (GC)		
Baixo (13%-19%)	Grãos curtos convencionais Grãos médios convencionais Tipos de qualidade premium japoneses (GC, GM) Tipos Toro (GL) Tipo Jasmine (GL)		Tipo Hidalgo (GL)
Intermediário (20%-24%)		Grãos longos convencionais Tipos Basmati (GL)	
Alto (<25%)	Tipos Rondo (GL) AB647 (GM)	Tipos de processamento superior (GL) Tipos L202 (GL)	

Fonte: Adaptado de Bergman (2019), traduzido. Grão curto (GC), grão médio (GM), grão longo (GL).

Foi observado que o conteúdo de amilose, temperatura de gelatinização e centro branco, que constituem características da qualidade culinária inerentes ao cultivar, são pouco

influenciados pelo ambiente. Além do teor de amilose, a temperatura de gelatinização (TG) é outra característica indireta da qualidade do arroz. Trata-se da temperatura necessária para o cozimento dos grãos e absorção de água, obtendo maior tamanho por inchamento dos grãos e assim, perda de cristalinidade. A TG do arroz é classificada como alta (74,5 °C - 80 °C), intermediária (70 °C - 74 °C) ou baixa (55 °C - 69,5 °C). Cultivares com alta TG requerem mais água e maior tempo de cocção, porém é mais fácil ter problemas de cocção, como o centro do grão mal cozido. Naqueles cultivares com TG intermediária ou baixa os grãos são cozidos por completo, com menor quantidade de água e menor tempo de cocção, o que gera uma determinada preferência por algum tipo de cultivar ou variedade de arroz pela população (FERREIRA et al., 2005; FONSECA et al., 2007; PEREIRA, et al., 2007; VIEIRA; PEREIRA, 2004).

De acordo com Ito (2018), são muitos os produtos elaborados com derivados do arroz, como a farinha, amido, proteína, e dextrina que são utilizados para o desenvolvimento de novos alimentos, como pães, macarrão, espessantes, bolos, *cookies* e também bebidas como o saquê, que é um tipo de bebida alcoólica feita com arroz fermentado, alimentos infantis como formulações lácteas, cereais matinais e alguns suplementos e excipientes que já são amplamente utilizados na indústria. As características que apresentam fazem dele um alimento muito versátil. Apresenta grânulos de amido menores entre os grãos de cereais o que faz dele ótimo para melhorar a textura nos alimentos e preparações.

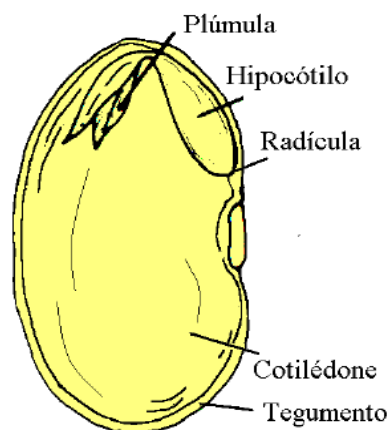
### 3.2 FEIJÃO

Graner e Godoy (1962) explicam que para alguns autores o feijão foi conhecido e cultivado ao lado do milho e da mandioca pelos indígenas, sementes foram encontradas nas catacumbas dos Incas no Peru, mas que para outros sua origem está na Ásia. No Brasil essa leguminosa constitui a base da alimentação proteica, de classificação botânica como planta anual, herbácea, pertencente à família *Fabaceae*, gênero *Phaseolus*, classificada como *P. vulgaris* L. O fruto é uma vagem com sementes que podem ser elípticas, cilíndricas, esferoides ou reniformes, de tamanho e coloração de acordo com as variedades como feijões brancos, vermelhos, amarelos, róseos, pardos, roxos, pretos e pintados. Na produção de feijão foram desenvolvidas tecnologias de integração lavoura-pecuária na recuperação de solos degradados de pastagens, que são recuperadas para o período de entressafra, podendo aproveitar os nutrientes residuais deixados pelas culturas, vantagens no controle de algumas doenças do feijoeiro e assim mesmo na redução de custos.



Segundo Sousa e Silva (2008), a composição e propriedades físicas dos grãos são importantes para estudos sobre secagem e armazenamento. O feijão é uma semente dicotiledônea, formada pelo tegumento e embrião. O tegumento, camada externa protetora que mantém unidas as partes internas das sementes além de servir como barreira contra microrganismos, regula a velocidade de reidratação e trocas gasosas. O eixo embrionário, tecido meristemático, é a parte vital da semente porque apresenta a capacidade de se desenvolver. É constituído por duas estruturas foliares, os cotilédones, tecido que também funciona como tecido de reserva. A Figura 2 representa a estrutura do grão de feijão e suas partes.

Figura 2 - Estrutura do grão de feijão.



Fonte: Sousa (2008).

O feijão Fradinho (*Vigna unguiculata* (L.) Walp), conhecido também como feijão-caupi, feijão-de-corda ou feijão-macassar, é uma cultura originária da África trazida ao Brasil pelos portugueses no século XVI. A produção de feijão Fradinho ocorre principalmente nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste, sendo a base da alimentação da população e foi disseminado para as demais regiões do país. Assim, a partir de 2006 passou a ser cultivado a larga escala. A oferta de um produto mais econômico, de alto valor nutritivo e de alta qualidade, contando com o melhoramento genético da Embrapa Meio-Norte, que pôde-se adaptar às condições tropicais e ao baixo custo de produção, despertou o interesse de agroindústrias de novos mercados. Já foram lançadas três cultivares com teores elevados de ferro, acima de 60 mg kg<sup>-1</sup> e 40 mg kg<sup>-1</sup> de zinco, sendo uma das culturas contempladas na área de biofortificação de alimentos porque representam uma boa opção para os programas sociais de combate à desnutrição (ROCHA et al., 2016).

### 3.2.1 Produção de Feijão

Com o lema “Sementes nutritivas para um futuro sustentável”, o Ano Internacional das Leguminosas Amiláceas (“*Pulses*”) foi aprovado em novembro de 2015. Com a intenção de fortalecer vínculos entre atores-chave desde as organizações de agricultores e o setor privado, para facilitar a troca de informações e o debate de políticas sobre produção, comércio e consumo de leguminosas (CONAB, 2018).

No Brasil, a produção anual estimada de feijão é de 3 milhões de t. Mais de um quarto destas safras estão concentradas no Mato Grosso (27,5%), seguido pelo Paraná (15,7%) e Rio Grande do Sul (14,7%) (IBGE, 2019).

Para Coêlho (2017), os feijão cultivados mais conhecidos no Brasil são o feijão Carioca, Preto e Fradinho (também chamado de macassar, caupi ou de corda) e os feijões de cores (Branco, Vermelho e Roxo). Em sua análise, indica que o perfil de produção da agricultura familiar está diretamente relacionado ao clima, sem sofrer influência direta de conjunturas macroeconômicas e de flutuação de preços, mas podendo ser afetada pela interferência do Governo.

### 3.2.2 Consumo de Feijão

Segundo Ferreira et al. (2018), entre as famílias goianas, 95,8% do feijão adquirido é do tipo comercial carioca; 3,6%, preto; e 0,5%, de outros tipos, e que nas famílias da classe A1 houve redução da aquisição de feijão em 50%, mas nas famílias de classe D e E, aumentou quase 40%. Além disso, o segredo que ajuda considerar o arroz e o feijão para consumo diário, é cozinhar uma quantidade maior, para ser congelada, segundo a resposta dos entrevistados, e o congelamento do feijão é mais comum (71,4%), já que o seu cozimento é mais demorado do que o arroz e as famílias buscam praticidade. Assim os 28,6% que não congelam feijão provavelmente preferem o feijão cozido no dia ou não o comem todos os dias. Além disso, no momento da escolha do feijão carioca e de outros, o favoritismo é por grãos graúdos e uniformes com tegumentos de coloração clara e opaca, e no caso do feijão preto, em certas regiões, a inclinação é pelos grãos opacos e em outras pelos grãos brilhantes, mas não têm preferência pela coloração azulada.

### 3.2.3 Características Nutricionais

De acordo com Ulloa et al. (2011), dentro do grupo de leguminosas que têm sementes comestíveis, o feijão comum corresponde a uma das mais importantes. Está distribuído nos cinco continentes e é um componente essencial da dieta, especialmente na América Central e do Sul. As propriedades nutricionais dos grãos estão relacionadas ao seu alto teor de proteína e, em menor grau, à sua contribuição de carboidratos, vitaminas e minerais. Dependendo dos grãos, o teor de proteínas varia de 14 a 33%, sendo ricos em aminoácidos tais como a lisina (6,4-7,6 g / 100 g de proteína) e a fenilalanina tirosina (5,3-8,2 g / 100 g de proteína), mas com deficiências nos aminoácidos sulfurados de metionina e cisteína, como é mostrado no Quadro 6. No entanto, de acordo com as avaliações biológicas, a qualidade da proteína do feijão cozido pode ser de até 70% em comparação com uma proteína controle de origem animal à qual é atribuído 100%. No fornecimento de carboidratos, 100 g de feijão cru contribuem de 52 a 76 g, dependendo da variedade, cuja fração mais importante é o amido, como se mostra no Quadro 5, a composição de algumas das variedades. Dentre os macronutrientes do feijão, a fração de lipídios é a mais baixa (1,5 a 6,2 g / 100 g) e consiste de uma mistura de glicerídeos de ácidos graxos predominantemente mono- e poli-insaturados.

Quadro 5 - Composição nutricional por 100 gramas de feijão cru.

Alimento cru	Umidade (%)	Energia		Proteína (g)	Lipídeos (g)	Carboidrato (g)	Fibra Alimentar (g)	Cinzas (g)
		(kcal)	(kJ)					
Feijão, carioca	14,0	329	1377	20,0	1,3	61,2	18,4	3,5
Feijão, fradinho	12,7	339	1419	20,2	2,4	61,2	23,6	3,5
Feijão, jalo	13,5	328	1372	20,1	0,9	61,5	30,3	3,9
Feijão, preto	14,9	324	1354	21,3	1,2	58,8	21,8	3,8
Feijão, rajado	15,0	326	1363	17,3	1,2	62,9	24,0	3,7

(continua)

Quadro 5 – Composição nutricional por 100 gramas de feijão cru.

Alimento cru	Umidade (%)	Energia		Proteína (g)	Lipídeos (g)	Carboidrato (g)	Fibra Alimentar (g)	Cinzas (g)
		(kcal)	(kJ)					
Feijão, rosinha	<b>12,0</b>	<b>337</b>	<b>1410</b>	<b>20,9</b>	<b>1,3</b>	<b>62,2</b>	<b>20,6</b>	<b>3,6</b>
Feijão, roxo	<b>12,6</b>	<b>331</b>	<b>1387</b>	<b>22,2</b>	<b>1,2</b>	<b>60,0</b>	<b>33,8</b>	<b>4,0</b>

Fonte: Tabela Brasileira Composição de alimentos TACO (2011).

Quadro 6 - Aminoácidos essenciais do Feijão.

Aminiácidos	<sup>a</sup> FEIJÃO	<sup>b</sup> E.Q. aas FEIJÃO
Histidina	<b>33,68</b>	<b>2,0</b>
Isoleucina	<b>39,19</b>	<b>1,2</b>
Leucina	<b>76,99</b>	<b>1,3</b>
Lisina	<b>59,94</b>	<b>1,3</b>
Metionina + Cisteína	<b>20,75</b>	<b>0,8</b>
Fenilalanina + Tirosina	<b>78,38</b>	<b>1,9</b>
Treonina	<b>48,87</b>	<b>1,9</b>
Valina	<b>43,34</b>	<b>1,1</b>

Fonte: Adaptado de Silva (2017).

Nota: a: Perfil de aminoácidos essenciais (mg g<sup>-1</sup> proteína), b: Escore Químico de Aminoácidos (mg g<sup>-1</sup> proteína amostra) / (mg g<sup>-1</sup> proteína padrão) WHO/FAO/UNU, 2007.

As proteínas fornecidas pelos feijões são de alto valor nutricional, consideradas de alto valor biológico. Uma proteína de alta qualidade é aquela que contém todos os aminoácidos essenciais; as proteínas de origem animal são de melhor qualidade do que as vegetais porque estas são deficientes em pelo menos um dos aminoácidos essenciais. Um claro exemplo disso é o arroz, que é deficiente em lisina, mas é rico em metionina, aminoácido essencial que nas leguminosas como os feijões é limitante, por isso uma boa dupla é um cereal como o arroz com uma leguminosa como o feijão, porque assim ambas complementam para fornecer todos os aminoácidos essenciais (FENNEMA; DAMODARAN; PARKIN, 2019).

No Quadro 7 pode-se observar como a combinação de um cereal como o arroz e uma leguminosa como o feijão complementam-se e assim suprem as deficiências de aminoácidos que apresentam individualmente, fazendo delas uma ótima combinação para obter proteínas de alto valor biológico.

Quadro 7 - Escore químico da combinação de arroz (1 medida) + feijão (2 medidas) comparado à referência da WHO/FAO/UNU para a faixa 3-10 anos.

Aminiócidos	WHO/FAO /UNU	ARROZ+FEIJÃO (1+2)	E.Q. aas (1+2) ARROZ+FEIJÃO
Histidina	<b>16</b>	<b>28,51</b>	<b>1,8</b>
Isoleucina	<b>31</b>	<b>36,30</b>	<b>1,2</b>
Leucina	<b>61</b>	<b>72,11</b>	<b>1,2</b>
Lisina	<b>48</b>	<b>50,44</b>	<b>1,1</b>
Metionina + Cisteína	<b>24</b>	<b>22,89</b>	<b>1,0</b>
Fenilalanina + Tirosina	<b>41</b>	<b>76,06</b>	<b>1,9</b>
Treonina	<b>25</b>	<b>42,98</b>	<b>1,7</b>
Valina	<b>40</b>	<b>44,68</b>	<b>1,7</b>

Fonte: Adaptado de Silva (2017).

Além das vantagens a nível proteico a combinação arroz-feijão tem efeitos positivos na regulação da glicemia. Segundo Bantle et al. (2008) é considerando valor normal de glicose em jejum, abaixo de  $99 \text{ mg dL}^{-1}$  de sangue. As leguminosas, têm um baixo índice glicêmico (IG), e este índice mede a velocidade com que um alimento que contém carboidratos aumenta o nível de glicose no sangue, e podem reduzir a carga glicêmica das refeições. São documentadas as respostas glicêmicas do feijão consumido sozinho, mas são poucos os estudos que examinaram a resposta glicêmica às combinações tradicionais de alimentos, como feijão e arroz, considerando que o índice glicêmico deles oscila entre 30-50 e 60-80, respectivamente.

Um desses estudos foi documentado por Winham; Hutchins e Thompson (2017), que observaram o impacto glicêmico em 12 mulheres adultas saudáveis de idades entre 18 e 65 anos, decorrente do consumo de refeições de arroz (como controle branco) em comparação com a combinação de arroz e feijão preto. A resposta à glicose mostrou uma diferença significativa por tratamento, as alterações nas concentrações de glicose no sangue foram

diferentes para o arroz isolado e a combinação arroz-feijão e arroz- grão de bico. Isso indica a melhora da resposta glicêmica, glicose pós-prandial e menores riscos à saúde, sendo de muita importância para se considerar nos planos alimentares de pessoas com problemas metabólicos como a diabetes e também na sua prevenção.

Segundo descreve a jornalista Turbiani (2019): “Brasil é 3º país com mais casos de diabetes entre crianças e adolescentes. Na América Latina, 127,2 mil convivem com a diabetes, e o país com mais registros é o Brasil: 95,5 mil casos; no *ranking* global, o país só perde em número de casos para os Estados Unidos e a Índia.”

De acordo com Koblitz (2011), os carboidratos das leguminosas podem ser divididos em três partes principais: amido; açúcares solúveis e polissacarídeos (celulose, hemicelulose e pectina), a maior parte correspondendo ao amido (35 a 45%). Nas leguminosas estão presentes diversos grupos de oligossacarídeos, dentro deste grupo os galactosídeos, os mais abundantes, aqueles derivados da sacarose, conhecido como “oligossacarídeo da família da rafinose”. Os galactosídeos têm propriedades prebióticas, pois não são digeridos e favorecem o desenvolvimento de bifidobactérias e microbiota intestinal, mas podem acarretar fermentação excessiva com produção de gases e geração de flatulências em altas doses.

Deve-se destacar também a participação dos polifenóis na valorização dos feijões na alimentação humana. Segundo Mojica et al. (2015), alguns compostos fisiológicos do feijão que não são nutrientes essenciais, mas são ativos em nosso organismo, sendo denominados fitoquímicos.

No grupo dos compostos fenólicos temos que destacar aqueles que trazem vantagens para a saúde como as antocianinas e flavonoides. Elas podem estar ligadas a açúcares como glicose, ramnose, galactose, xilose e arabinose. As antocianinas têm uma importância biológica, como antioxidante e anti-inflamatório. Além disso, esses pigmentos ajudam a reduzir o risco de doença coronariana através da modulação arterial ou de proteção endotelial (HA et al., 2010; OOMAH; CORBÉ; BALASUBRAMANIAN, 2010).

A eliminação de compostos fenólicos das leguminosas melhora o valor nutricional de suas proteínas, o tempo e condições de armazenamento também influenciam na absorção de água e tempo de cocção, limitando a digestibilidade e disponibilidade de nutrientes (CARBONARO; MARLETTA; CARNOVALE, 1992; DELFINI; CANNIATTI-BRAZACA, 2008).

Segundo Fernandes; Nishida e Proença (2010), os fatores antinutricionais incluem os fitatos e certos compostos fenólicos que podem diminuir o valor nutricional. Se recomenda que a água de imersão seja descartada para eliminar os fatores antinutricionais.

No Quadro 8 são mostrados os tipos de polifenóis que se encontram em algumas variedades de feijão, considerando as classes e subclasses de compostos polifenólicos.

Quadro 8 - Polifenóis em algumas variedades de feijão.

<b>FEIJÃO</b>	<b>CLASSE DE POLIFENOL</b>	<b>SUBCLASSE DE POLIFENOL</b>	<b>NOME DO COMPOSTO</b>	<b>REFERENCIAS</b>
( <i>Wild and weedy</i> ) Feijão carioca feijões pretos	Flavonóides	Antocianinas	Peonidina, pelargonidina, cianidina	Espinosa et al. (2006)
Feijão preto Feijão brasileiro Feijão mexicano	Flavonóides	Flavonóis	Kaempferol Quercetina	De Lima et al. (2014)
Feijão carioca	Flavonóides	Flavonóis	Kaempferol 3-O-acetil-glucósido	Beninger et al. (2005)

Fonte: Adaptado de Ganesan (2017).

A presença de polifenóis na dieta diária tem importância já que alguns deles atuam como prebióticos e favorecem o desenvolvimento das bactérias benéficas, podendo atuar como protetores contra o desenvolvimento de câncer no trato gastrointestinal. É assim que muitos estudos mostraram que diferentes alimentos ricos em polifenóis e compostos bioativos são eficazes na proteção contra o desenvolvimento do câncer de cólon (MOTOHASHI; YAMAMOTO, 2004; PAUR; AUSTENAA; BLOMHOFF, 2008; KLINDER et al., 2016).

### 3.2.4 Qualidade na Indústria

Donadel e Ferreira (1999) estudaram as propriedades emulsificantes, espumantes, de absorção de água, de absorção de óleo e solubilidade das proteínas em função do pH do

feijão. Fizeram uma comparação das propriedades funcionais entre os grãos novos e envelhecidos, verificaram que os concentrados proteicos obtidos de grãos envelhecidos em diferentes tempos de armazenamento podem ser utilizadas na indústria de alimentos com ótimos resultados.

Gomes e Da Silva (2003) sinalizam que o lançamento de produtos industrializados a partir de feijão no Brasil, inicialmente pelos critérios de qualidade, não foi bem recebido pelos consumidores. Primeiro, os produtos à base de grãos, como feijoadas enlatadas encontraram resistência por utilizar grãos velhos, característica destes legumes, não alcançando o cozimento desejado. Os autores propõem o processo térmico por extrusão como um método que permite um melhor aproveitamento dos grãos de feijão. O aumento de pH favoreceu as propriedades emulsificantes e de formação de espuma, características importantes para as aplicações da farinha como ingrediente em formulações.

De acordo com Carvalho et al. (2012), nos resultados obtidos da sua análise estatística para o teor de proteína, houve um efeito significativo à medida que se utilizou maior porcentagem de farinha de feijão no processamento das farinhas pré-gelatinizadas. A extrusão de farinha mista de arroz e feijão apresentou as melhores características tecnológicas e nutricionais quando foi processada sob temperatura de 70 °C e 21% de umidade tendo muita coerência com outros autores.

Na pesquisa desenvolvida por Ferreira et al. (2012), pode-se observar que a extrusão contendo resíduos de feijão branco apresentou os maiores valores para Índice de Absorção de Água e Índice de Solubilidade em Água, enquanto o maior valor para o Índice de Expansão, foi observado com o feijão Carioca. Pode-se dizer que as modificações no índice de absorção de água e no índice de solubilidade em água, governam a estrutura da fase sólida no processamento de extrusão do amido.

Oliveira et al. (2017) indicaram que a utilização de formulações feitas com farelo de feijão, farinha de arroz e amido de mandioca na elaboração de biscoitos sem glúten demonstraram elevados teores de fibra alimentar total e de proteínas e obtiveram boa aceitabilidade sensorial sendo uma alternativa interessante para utilização na dieta de pessoas intolerantes ao glúten.

Segundo Basso Los (2019), o amido de feijão pode ser aplicado em produtos onde não ocorre completa gelatinização, como em produtos de panificação tipo *cookies* ou *brownies*. Em função do seu elevado teor de amido de baixa digestibilidade e amido resistente, pode ser um ingrediente interessante para a formulação de alimentos.



### 3.3 EXTRUSÃO

Há algumas décadas, muitos alimentos processados por extrusão são consumidos cotidianamente pela população de todas as idades, oferecidos em uma variedade de salgadinhos, formulações de alimentos infantis, cereais matinais, algumas proteínas vegetais texturizadas usadas como análogos ou extensores de carne, amidos pré-cozidos, incluindo bases de bebidas e sopas (HARPER, 1981).

Segundo Marques et al. (2018), várias pesquisas têm sido desenvolvidas utilizando o processo de extrusão para promover a formulação de alimentos mais saudáveis, ricos em fibras e outros componentes que os caracterizam como alimento funcional, que proveem uma maior diversificação de produtos e atendem às atuais necessidades dos consumidores, principalmente em relação à saúde. A extrusão é um processo contínuo e simultâneo, envolvendo alta temperatura e curto tempo (*high temperature short time*– HTST). Desta forma, a matéria-prima extrusada é submetida a várias mudanças: hidratação de amido e proteínas, desnaturação de proteínas, homogeneização, liquefação de gordura, gelatinização do amido, destruição de fatores antinutricionais, inativação enzimática, plastificação e expansão do material processado, minimizando a degradação de nutrientes, melhorando a digestibilidade das proteínas e do amido. Este tipo de processamento torna possível uma grande variedade de produtos finais, tais como “*snacks*” e farinhas instantâneas.

Silva et al. (2015) relatam que a partir dos anos 1960 os produtos alimentares processados por extrusão começaram a ser comercializados pela versatilidade deste processo. Na atualidade são desenvolvidas novas tecnologias para melhorar os parâmetros e qualidade dos produtos, sendo importante ter uma ideia mais clara do funcionamento do equipamento. O canhão é geralmente cilíndrico, mas também pode ser de forma cônica para operações especiais, tem uma superfície interna lisa, e as vezes tem estrias superficiais paralelas ao seu comprimento. É formado por ligas metálicas duras e resistentes, de aço inoxidável e está sujeito a elevadas pressões; a relação comprimento/diâmetro (L/D) é normalmente superior a 20:1; o motor elétrico produz o movimento de rotação do parafuso; o parafuso, ao girar dentro do canhão, ajusta, molda e conduz com ajuda da pressão, o material até à matriz.

Existem basicamente dois tipos de extrusoras, as de rosca dupla (“*twin screw*”), que foram desenvolvidas para formulações contendo teores máximos de 20 % de gordura, 65 % de umidade e 40 % de açúcares; têm dois parafusos independentes que giram em co-rotação ou em contra-rotação, este movimento permite limpar a massa que fica entre eles e o produto é

conduzido até a última parte para a saída do produto final. As extrusoras de rosca simples (“*single screw*”) que são utilizadas em formulações ricas em carboidratos e pobres em gordura, com alta flexibilidade de expansão, apresentando boa estabilidade de processo; após o fornecimento da matéria prima o parafuso permite o enchimento rápido, e na zona de compressão ou de transição, os materiais começam a sofrer cozimento e ocorrem alterações estruturais. É na última parte onde o cisalhamento é intenso, a pressão e o calor aumentam, enquanto o movimento do parafuso permite a saída do produto pelo orifício final onde as facas dão um formato desejado ao produto extrusado final. A umidade é uma das variáveis mais importantes no processo de extrusão, pois, favorece o completo umedecimento das partículas dos ingredientes resultando em aumento na transferência de calor o qual pode proporcionar uma uniforme gelatinização do amido e completo cozimento do produto (ANDERSON et al., 1969; FELLOWS, 2006).

A palavra "expansão" é usada para descrever os eventos que permitem a formação de materiais celulares inchados e de densidade menor, obtidos de uma massa quente e gelatinizada de amido, que é forçada sob pressão através de uma abertura restrita na atmosfera. A formação de produtos expandidos aceitáveis com uma forma e textura desejáveis depende de vários fatores. Para uma boa expansão necessita-se de uma gelatinização adequada do amido, pressão suficientemente grandes para causar rápida ebulição do vapor de água e formar uma forte estrutura celular e pelo resfriamento evaporativo. Também a temperatura e o teor de amilose e amilopectina têm um grande efeito na expansão da massa gelatinizada, quanto maior o teor de amilose, a expansão será muito baixa, e quanto mais alta a temperatura, o produto expandido será melhor (MERCIER; FEILLET, 1975; HARPER, 1979; CAMIRE, M.; CAMIRE, A.; KRUMHAR, 1990).

O efeito do teor de óleo (triglicerídeos) na expansão foi estudado para várias matérias-primas extrusadas e se concluiu que o teor de óleo, se correlaciona negativamente com expansão (HORVATA et al. 2013).

A adição de bicarbonato de sódio melhorou a expansão do amido de trigo extrusado, uma vez que esses compostos enfraqueceram a resistência dos extrusados à quebra e o valor mais alto de pH favorece a caramelização do amido (LAI; GUETZLAFF; HOSENEY, 1989).

Por ação do calor e umidade, os grânulos de amido sofrem gelatinização e fusão nas ligações hidrogênio entre as cadeias polissacarídicas que estão firmemente ligadas na estrutura do grânulo (HARPER, 1979). O excesso de água faz com que as pontes de hidrogênio nas regiões amorfas do grânulo, menos ordenadas, sejam rompidas, a água se associa com grupos hidroxilas livres. As matérias primas utilizadas para a fabricação de

alimentos, sobretudo aquelas que contêm amido, podem ter suas propriedades físicas severamente alteradas no processo de extrusão como a textura, expansão, gelatinização e índice de absorção de água (CHAU; HUANG, 2003).

Para Lustosa; Leonel e Mischan (2009) alguns dos parâmetros utilizados para avaliar o grau de cozimento dos ingredientes que passam por extrusão são densidade e índice de absorção de água. As fórmulas com densidade alta e baixa absorção de água são produtos pouco expandidos, com inadequada gelatinização do amido e com menor aproveitamento dos nutrientes que levam à formação de uma estrutura compacta.

Segundo Carvalho et al. (2010), a umidade tem efeito direto nas características dos extrusados, exercendo influência na qualidade física do extrusado, já que afeta a estrutura celular e a fragilidade dos produtos expandidos. As características físicas e químicas dos extrusados são afetadas pela viscosidade dos ingredientes homogeneizados no condicionador que resultam no grau de gelatinização do amido desse alimento misturado. A expansão de materiais amiláceos é inversamente proporcional à umidade do material a ser extrusado. A água tem efeito oposto sobre a expansão, atuando como um plastificante para materiais amiláceos, reduzindo assim a viscosidade e a dissipação da energia mecânica na extrusora, resultando em produto mais denso. Neste processo, os grânulos de amido são gelatinizados e/ou retrogradados e têm grande efeito na qualidade, especialmente na textura.

O cozimento por extrusão é um processo termomecânico no qual a transferência de calor, a transferência de massa, as mudanças de pressão e o cisalhamento são combinados para produzir efeitos como cozimento, esterilização, fusão, texturização e retenção de nutrientes no produto. A interação dos demais nutrientes com carboidratos também desempenha um papel importante no desenvolvimento textura. Benefícios usuais desses processos, que modificam as propriedades funcionais dos ingredientes alimentares, pode alterar o valor nutricional e textura do produto final fazendo dele um produto atrativo para o consumidor. (WITTEK; EMIN, 2017; NIKMARAML; KAMANI; GHALAVAND, 2015).

#### 3.4 AMIDO RESISTENTE

Conforme Englyst e Cummings (1987), uma fração de amido em alimentos resfriados e cozidos era altamente resistente à digestão por amilase pancreática *in vitro*, tendo utilizado o termo amido resistente (RS) para descrever essa fração. Após estudos em indivíduos ileostomizados, que foram utilizados como modelo para a digestão no intestino delgado, ficou

claro que este tipo de amido representava uma proporção do amido que pode resistir à digestão no intestino delgado humano.

Mais tarde, o butirato foi definido como uma importante fonte de energia para as células epiteliais do cólon. O amido resistente torna-se um substrato para fermentação microbiana e, o rendimento energético a partir desta fonte é menor do que se o amido tivesse sido digerido e absorvido no intestino delgado. Os altos níveis de butirato produzidos a partir da fermentação do amido podem ser benéficos para a saúde. O amido pode ser classificado como amido de rápida digestão (RDS), aquele que é degradado a glicose pela ação das enzimas no trato digestivo ou amido de lenta digestão (SDS) principalmente digerível no intestino delgado ou aquele que é resistente à digestão (RS). Neste caso, pode ainda ser classificado em amido fisicamente inacessível (RS1), que é aquele amido que fica sem o acesso da amilase pancreática; grânulos de amido resistente (RS2), aquele amido que é armazenado como estruturas intracelulares parcialmente cristalinas denominadas grânulos, amido retrogradado (RS3), onde o amido gelatinizado forma novamente uma estrutura parcialmente cristalina, insolúvel e muito diferente da conformação inicial, porém resistente à digestão enzimática, e o amido modificado (R4) devido à ligação cruzada com reagentes químicos (ENGLYST; KINGMAN; CUMMINGS, 1992; WALTER; SILVA; EMANUELLI, 2005).

Segundo Englyst e Hudson (1996) estruturalmente o amido é composto por cadeias de amilose e amilopectina. A amilose é formada por unidades glicose unidas por ligações glicosídicas  $\alpha(1\rightarrow4)$ , formando uma cadeia linear enquanto a amilopectina é formada por unidades de glicose unidas em  $\alpha(1\rightarrow4)$  e  $\alpha(1\rightarrow6)$  sendo assim uma estrutura ramificada. O amido com ligações  $\alpha$ -glicosídicas é potencialmente digerível pelas enzimas amilolíticas secretadas no trato digestivo. Sob alta produção da  $\alpha$ -amilase pancreática, o amido é completamente hidrolisado sendo absorvido no intestino delgado na forma de glicose mas a forma de consumo poderia influenciar sua hidrólise e absorção. Para os autores, o RS é definido como a soma dos produtos de amido e degradação de amido que, em média, atinge o intestino grosso humano. O método analítico para a medição de RS *in vitro* baseado nesta definição é mostrado para fornecer uma previsão precisa da quantidade média de amido que provavelmente não teria uma digestão completa nem a absorção no intestino delgado humano.

De acordo com Goñi et al. (1996), os alimentos crus e processados contêm consideráveis quantidades de RS, dependendo da matriz botânica do amido e o tipo de processamento.

A relação entre amilose e amilopectina, forma física, grau de gelatinização tratamentos térmicos, refrigeração e armazenamento afetam o conteúdo do RS em alimentos (WANG; COPELAND, 2013). A digestibilidade do amido também pode ser afetada por fatores intrínsecos, como os complexos amido-proteína e amido-lipídio, inclusive por inibidores da  $\alpha$ -amilase (BIRT et al., 2013).

Dos macronutrientes, os carboidratos desempenham um papel importante na contribuição de energia. Existem os que são rapidamente digeríveis e resultam em glicose com ação enzimática a qual inicia na boca e estende-se até o início do intestino delgado. Os complexos formados principalmente por dissacarídeos, oligossacarídeos e polissacarídeos que antes de serem absorvidos devem ser decompostos em carboidratos simples para que possam ser assimilados, e os resistentes a digestão que estão relacionados com a produção de butirato (PEREIRA, 2007).

Para Hu et al. (2004) quando as matrizes granulares do amido são interrompidas por aquecimento com excesso de água, o que é conhecido como gelatinização, ocorre um aumento substancial no índice glicêmico (GI). Após o armazenamento, as moléculas de amido tendem a se associar novamente e formar uma estrutura compacta, que geralmente resulta em uma diminuição na digestibilidade e GI. Esse processo é conhecido como retrogradação e é geralmente usado para controlar o nível de digestão do amido. A parte do amido retrogradado que não é digerido pelas enzimas digestivas é transferido para o cólon, sendo o amido resistente (RS) que compartilha propriedades em comum com fibra dietética.

De acordo com os autores mencionados o tipo de processamento aplicado nos alimentos influencia na sua digestibilidade por isso é importante compreender que acontece com eles após seu consumo.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 MATERIAL

As amostras de arroz, tipo beneficiado polido, parboilizado e integral parboilizado (Figura 3) foram fornecidas pela empresa Urbano Alimentos, na cidade de Ponta Grossa PR, enquanto as amostras de feijões, variedades Branco (BRS Ártico), Carioca (BRS Estilo) pertencentes ao Grupo 1-Feijao Comum (*Phaseolus vulgaris*) foram fornecidas pela EMBRAPA PG-PR, safras 2017 e 2018 e a variedade Fradinho (BRS Itaim) pertencentes ao Grupo 2-Feijao Caupi (*Vigna unguiculata*) foram fornecidas pela EMBRAPA Meio-Norte, safra 2018. Todas as amostras foram acondicionadas em frascos âmbar, identificadas e armazenadas em local ao abrigo da luz e temperatura amena (20 – 25°C) até o momento das análises. Os reagentes utilizados foram de grau analítico e cumprem as exigências para as análises. As enzimas utilizadas foram fornecidas pela Megazyme (Wicklow, Irlanda) e Sigma-Aldrich.

Para a realização das análises os equipamentos utilizados foram disponibilizados pelo complexo de laboratórios Multiusuários (C-Labmu) da Universidade Estadual de Ponta Grossa e pelo Laboratório de Tecnologia de Cereais, Raízes e Tubérculos.

Figura 3 - Amostras de arroz dos diferentes subgrupos.



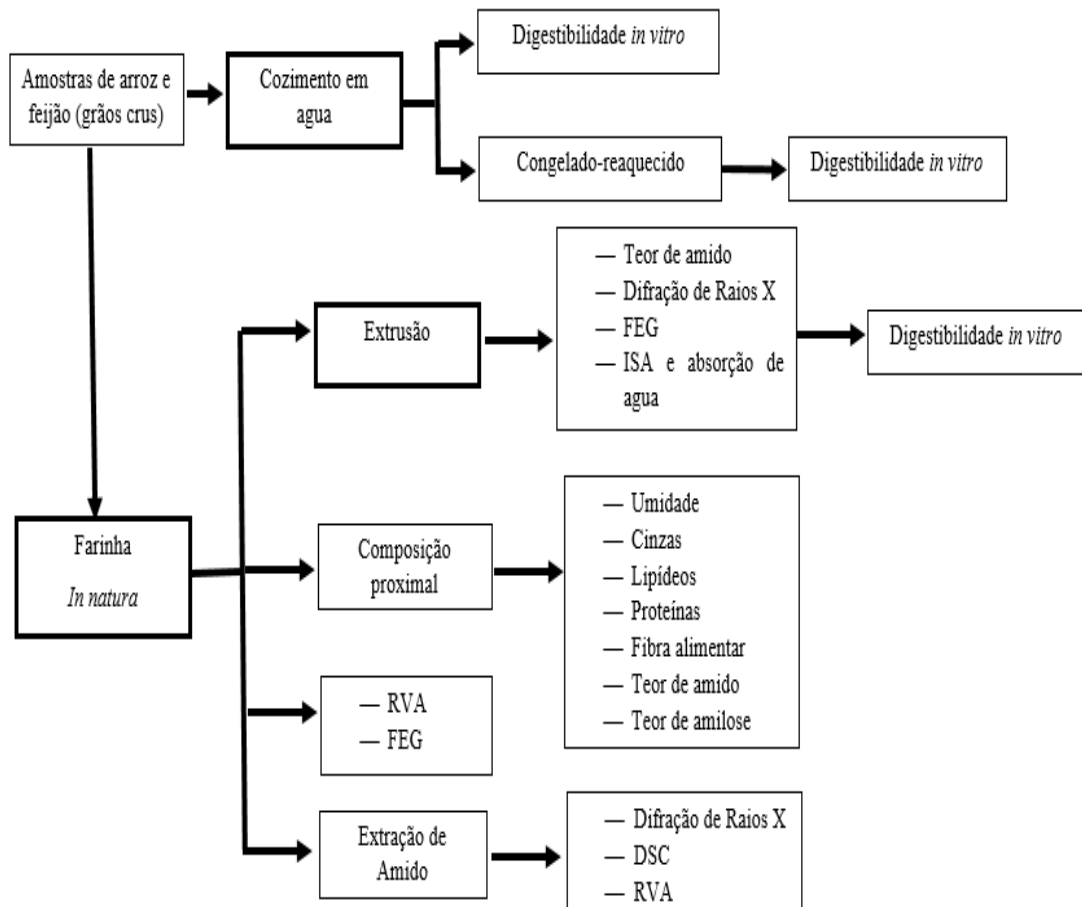
Figura 4 - Amostras de feijão dos diferentes grupos.



## 4.2 MÉTODOS

As análises realizadas nas amostras de arroz e feijão estão mostradas na Figura 5.

Figura 5 - Fluxograma das análises realizadas.



#### 4.2.1 Composição Proximal

Para a realização desta análise foi necessário triturar parte das amostras em moinho de rotor (Tecnal TecMill TE-633, Piracicaba, Brasil) para obter uma farinha homogênea.

Para a determinação da umidade, foi usado o método 934.01 (AOAC, 2000). Foram pesados 4 g de cada amostras em cápsulas de porcelana, previamente taradas e aquecidas em estufa a 105 °C até obtenção de peso constante.

As cinzas foram determinadas por meio de incineração de aproximadamente 4 g da amostra numa capsula de porcelana na mufla a 550 °C por 6 h, resfriada em dessecador até a temperatura ambiente e pesada (IAL, 2008).

A determinação de lipídeos, com o método descrito no IAL, 2008, utilizando o sistema de refluxo de Soxhlet por 4-6 h (hexano), finalmente o balão com o resíduo extraído foi deixado na estufa a 105 °C por 12 h, sendo o teor de lipídios quantificado por variação gravimétrica.

A determinação de proteínas, foi pelo método 920.87 (AOAC, 2000) com micro Kjeldahl. Após a digestão, as amostras foram destiladas e tituladas, obtendo assim a quantidade de nitrogênio e o teor proteico foi calculado multiplicando o percentual de nitrogênio pelo fator 6,25.

O teor de fibra alimentar total foi realizado por o método enzimático – gravimétrico, utilizando-se o kit enzimático da Megazyme (Wicklów, Irlanda). Cada amostra foi filtrada utilizando o cadinho de fundo poroso, já calcinado, resfriado, pesado e com celite. O material que ficou retido no cadinho foi seco em estufa a 105 °C por 12 h e pesado. Dois cadinhos foram utilizados para a análise de cinzas, e os outros dois para análise de proteínas.

A análise do teor de amido foi realizado conforme a metodologia 996.11 da AOAC (1995), utilizando o kit enzimático “*Total Starch (K-TSTA)*” da Megazyme *International*, (Wicklów, Irlanda). Foi realizada em duplicada, o teor de glucose foi determinado utilizando o reativo GOPOD (Megazyme).

#### 4.2.2 Extração de Amido

O amido de arroz foi isolado por extração alcalina das proteínas, segundo a metodologia descrita por Cardoso et al. (2007), utilizando uma solução de NaOH 0,15. As amostras de farinhas *in natura* de arroz foram suspensas em NaOH por 24 h a 20 °C. A amostra foi lavada até não se observar cor rosa na presença de fenoltaleína e finalmente



foram secas em estufa por 12 h a 40 °C, rotuladas e reservadas até o momento das análises respectivas.

Para a extração de amido de feijão as amostras foram suspensas em água destilada e homogeneizadas com ajuda de agitador mecânico por 10 min. Decantaram por 24 h na geladeira. O sobrenadante foi eliminado, até obter o amido limpo. Finalmente o amido foi filtrado ao vácuo e seco em estufa por 12 h a 40 °C, rotuladas e reservadas até o momento das análises respectivas.

#### 4.2.3 Teor de Amilose

A análise para determinar o teor de amilose foi realizada seguindo a metodologia descrita por Schoch (1964). Um béquer de 250 mL com uma barra magnética (20 mm) foi pesado e adicionou-se 100 mg de amostra desengordurada, 1 mL de água ultra pura e 5 mL de KOH 1,0 M. A solução foi mantida em agitação constante por 30 min em temperatura ambiente. Após o tempo, foram adicionadas três gotas de alaranjado de metila como indicador, mudando a cor da solução alaranjada, depois a solução foi neutralizada com gotejamento de HCl 0,5 M, até mudar a cor da solução a rósea. Foram adicionados 10 mL de KI 0,5 M e completado com água ultra pura até massa de 100,9 g (30 °C).

Para o preparo da solução estoque, foram solubilizadas em ultrassom 83 g de KI e 2 g de I<sub>2</sub> e, em seguida, foram adicionados 37 g de KCl e o volume foi completado para 1 L com água ultrapura. Para utilizar como titulante, foi realizada uma diluição de 1:10 de solução estoque: água ultra pura. O resultado foi demonstrado em afinidade de iodo, o qual foi dividido por 20 % para calcular a concentração de amilose presente nas amostras.

#### 4.2.4 Propriedades de Pasta

A viscosidade das amostras foi determinada com o uso do analisador de viscosidade marca Rapid Viscoanalyzer (RVA-4, Perten, Suécia), seguindo o perfil Standard 2. Para a análise foi determinada a umidade de cada amostra por meio do Analisador de Umidade Infravermelho da marca Sartorius (MA35, Sartorius AG, Alemanha), utilizando 1g de cada amostra a 120°C por 15 min. As amostras foram preparadas considerando 8% de conteúdo seco para a suspensão em água destilada, atingindo 28 g da suspensão, valor total. O aquecimento foi contínuo de 50°C até 95°C, com taxa de aquecimento de 6°C min<sup>-1</sup>,

resfriamento de 95°C a 50°C na mesma taxa e manutenção a 50°C até completar 23 min de análise (DEMIATE et al., 2005).

#### 4.2.5 Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)

Para a determinação das propriedades térmicas das farinhas foram feitas as curvas de Calorimetria Exploratória Diferencial em aparelho TA Q-200 (TA *Instruments*, New Castle, DE, EUA) previamente calibrado utilizando com padrão de Índio (Ponto de fusão = 156,6 °C;  $\Delta H=28,56 \text{ J g}^{-1}$ ). Foram pesados 2 mg em base seca de cada amostra de amido de arroz e feijão e se adicionou 8  $\mu\text{L}$  de água, em cadinhos de alumínio. Após 1 h de equilíbrio com o cadinho devidamente selado, as amostras foram levadas a aquecimento de  $5 \text{ }^\circ\text{C min}^{-1}$ , de 30 até 100 °C.

#### 4.2.6 Difração de Raios X

Para as amostras de arroz e feijão a cristalinidade dos amidos isolados e das farinhas extrusadas foram determinadas por difração de raios X. Os difratogramas de raios X foram coletados em um equipamento Rigaku Ultima IV (Rigaku, Tóquio, Japão) com  $\text{CuK}\alpha$ , comprimento de onda  $\lambda = 1,54 \text{ \AA}$  da radiação a 40 kV e 30 mA. A análise foi realizada com varredura  $2\theta$  de 3-40 ° com um período de medição de escaneamento contínuo (NARA; KOMIYA, 1983).

#### 4.2.7 Microscopia Eletrônica de Varredura (FEG)

Imagens por microscópio eletrônico de varredura por emissão de campo ou do tipo *Feld Emission Gun* (FEG), foram obtidas no equipamento Tescan (Mira 3, República Tcheca), com uma tensão de voltagem de 15 kV com ampliações que variaram de 1000× até 5000× fazendo um preparo da amostra (farinha *in natura* e farinha dos extrusados) com uma fina camada de ouro sobre cada amostra, conforme metodologia descrita para amidos (RATNAYAKE; JACKSON, 2007).

#### 4.2.8 Cozimento das amostras em água

Para o cozimento em água de arroz foram pesados 30 g (grãos) e submetidos a cocção, com duas medidas de água deionizada para uma medida de arroz, de acordo com as indicações do fornecedor do arroz, utilizando uma chapa a uma temperatura fervente durante 30, 20, 55 min para o arroz parboilizado, polido e integral parboilizado, respectivamente (Figura 6). Para o cozimento em água do feijão foi utilizada a metodologia descrita por Botelho (2014), em pressão/autoclave, com algumas modificações. Foram pesados 30 g das três amostras e macerados *overnight*, descartando a água de maceração, todas as amostras foram submetidas à cocção por 5 min na autoclave a 120 °C com três medidas de água deionizada para uma de feijão. Para conferir o cozimento total das amostras foram usadas placas de vidro para esmagar os grãos de arroz e feijão, observando-se que ficou uma pasta macia e homogênea das amostras (Figura 7).

Se reservou a metade das amostras cozidas para resfriar e posteriormente congelar na geladeira por 48 h, para a outra digestibilidade *in vitro* programada. Após o tempo de congelamento as amostras foram reaquecidas em micro-ondas da marca Philco, modelo PM824, seguindo as indicações do fabricante, sendo assim, tempo que o micro-ondas precisou para reaquecer, foi de 17 s por cada 10 g de amostra congelada e 33 s para cada 20 g de amostra congelada.

Figura 6 - Amostras de arroz cozido dos diferentes subgrupos.



Figura 7 - Amostras de feijão cozido dos diferentes grupos.



#### 4.2.9 Processamento por extrusão

Para o processamento por extrusão se operou uma extrusora mono rosca marca EXteec modelo Ex Laboratório (Ribeirão Preto, SP). A temperatura da zona média foi mantida a 50°C com ajuda de um sistema de circulação constante de água fria e a última zona foi mantida a temperatura de 90°C para conseguir a gelatinização do amido.

##### 4.2.9.1 Condicionamento da umidade

As farinhas de arroz e feijão foram condicionadas a 25%, após testes prévios realizados foi a umidade com melhores resultados. A umidificação foi realizada com água destilada pulverizada com borrifador manual sobre a farinha e revolvida com auxílio de uma espátula. A quantidade de água a ser adicionada às amostras foi calculada considerando-se a quantidade de farinha a ser extrusada e a sua umidade inicial.

Após extrusadas as farinhas (Figuras 8 e 9), os produtos foram deixados na estufa por 12 h a 40°C para depois serem moídos no moinho de rotor (Tecenal TecMill TE-633, Piracicaba, Brasil) e peneirados em malha de 60 mesh. As farinhas dos extrusados foram rotuladas e acondicionados em frascos a temperatura ambiente até o momento das análises.

Figura 8 - Extrusados de arroz dos diferentes subgrupos.

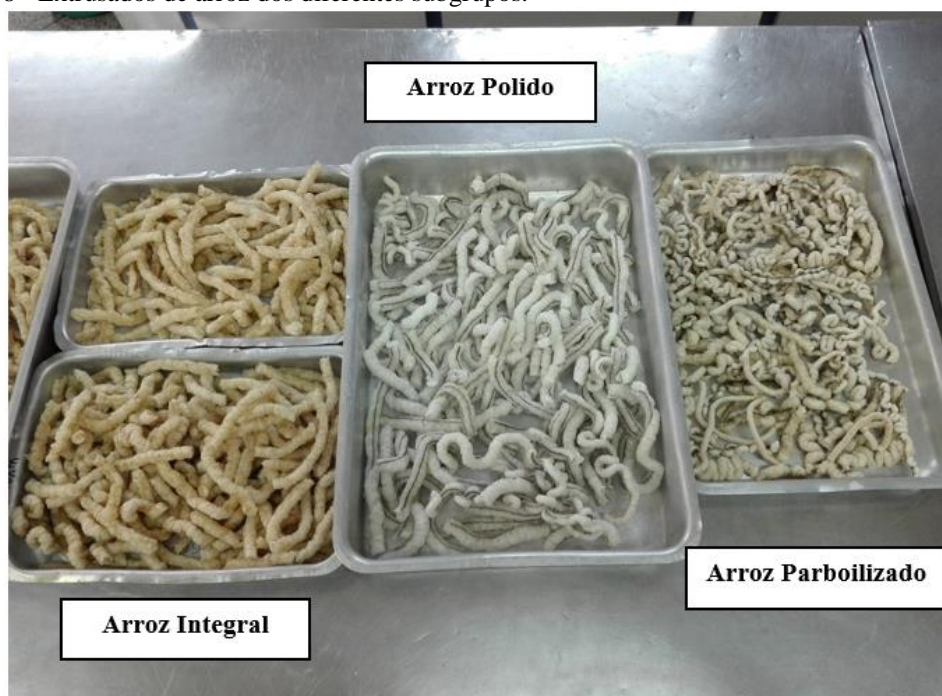


Figura 9 - Extrusados de feijão dos diferentes grupos.



#### 4.2.9.2 Índice de solubilidade em água (ISA) e absorção de água

Para os testes de solubilidade e absorção de água, foi usada a metodologia descrita por Anderson et al. (1969) e citados por Wang et al. (2000). Foram adicionados 2,5 gramas de amostra em 30 mL de água no tubo de centrífuga de 50 mL, misturadas no vortex por 10 s

com posterior agitação constante por 30 min, e finalmente centrifugados a 2300 rpm por 10 min. O sobrenadante do teste foi seco em placas de petri na estufa a 100 °C por 3 h. A solubilidade foi determinada pela razão da massa do sobrenadante seco em relação à massa inicial da amostra. A absorção de água foi expressa como g de água retido em relação a 100 g de amostra.

#### 4.2.9.3 Absorção de gordura (AG)

Para os testes de absorção gordura e água foi usada a metodologia descrita por Dench; Rivas; Caygill (1981) e citado por Wang et. al. (2000). Foram pesados num tubo de centrifuga de 50 mL 0,5 g de amostra e 30 mL de óleo de soja e misturadas no vortex por 10 s para homogeneizar. Foi realizada a agitação da amostra por 30 min e em seguida os tubos foram centrifugados a 3000 rpm por 25 min. O excesso de óleo foi drenado com o tubo invertido por 30 min. A AG calculada foi expressa como g de óleo retido em relação a 100 g de amostra.

#### 4.2.10 Digestibilidade *In Vitro* do Amido

A digestibilidade *in vitro* do amido de arroz e de feijão foi realizada seguindo o método descrito por Englyst (1992) e modificado por Corgneau et. al. (2019), em duplicata. A análise foi realizada no mesmo dia que as amostras foram cozidas e após de 48 h de congelamento e posterior reaquecimento.

As amostras cozidas e congeladas/reaquecidas foram trituradas em gral e pistilo de porcelana até obter uma massa macia e homogênea para a pesagem calculada. Para os extrusados a digestibilidade foi realizada com as amostras secas, trituradas e peneiradas.

Para as amostras que estavam hidratadas foi preciso calcular a umidade e considerar o valor para o cálculo de peso das amostras, pesando-se então: 1,57 g, 1,59 g, 1,56 g, de arroz parboilizado, polido e integral parboilizado e 1,54, 1,52 g, 1,53 g, de feijão Branco, Carioca e Fradinho, respetivamente. Em tubos de 50 mL, foram adicionados 50 mg de goma guar, 4 pérolas de vidro e 10 mL de HCl 0,05 M contendo pepsina (p7012 Sigma-Aldrich) 23700 unidades, em cada tubo e foi incubado por 30 min a 37 °C. Após isso, foi adicionado 10 mL de acetato de sódio 0,25 M e 5 mL da solução de enzimas contendo  $\alpha$ -amilase pancreática e amiloglucosidase. A partir desse momento o tempo foi controlado para retirar duas alíquotas de 0,250 mL de amostra após 20 min de incubação (G20) e aos 120 min (G120), sendo a temperatura mantida a 37 °C. Estas alíquotas foram colocadas em tubos contendo 10 mL de etanol 66 %. Os tubos foram centrifugados por 5 min (1000  $\times$ g). A fração do sobrenadante foi

retirada para determinar a glicose pelo método de GOPOD. Para os cálculos, se utilizou a curva padrão para calcular a concentração de glicose das amostras, assim a concentração de amido resistente foi calculada como mg de glicose  $\times$  0,9.

Para os cálculos foi considerado:

$$\text{Amido Total} = \text{Glicose Total} \times 0,9 \quad (\text{Eq. 1})$$

$$\text{Amido de Rápida Digestão (RDS)} = (\text{G20}) \times 0,9 \quad (\text{Eq. 2})$$

$$\text{Amido de Lenta Digestão (SDS)} = (\text{G120} - \text{G20}) \times 0,9 \quad (\text{Eq. 3})$$

$$\text{Amido Resistente (RS)} = \text{Amido Total} - \text{Amido de Lenta Digestão (SDS)} \quad (\text{Eq. 4})$$

#### 4.2.11 Análise Estatística

A análise estatística foi realizada utilizando o programa Software Action Stat da EstatCamp, São Carlos, 2016. Os resultados foram apresentados pela média seguidos do desvio padrão. Inicialmente, foi verificada a normalidade das amostras pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, seguida da verificação da homogeneidade de variâncias pelo teste de Levene. A diferença entre as variâncias foi verificada pelo teste da ANOVA fator único considerando como diferença significativa o valor de  $p < 0,001$ . A diferença entre as médias foi verificada pelo teste de Tukey e Fisher. O delineamento foi inteiramente casualizado.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 COMPOSIÇÃO PROXIMAL

Os valores da composição proximal apresentam diferenças significativas (p-valor ANOVA 0,001) entre os diferentes tipos de beneficiamento de arroz e variedades de feijão.

Os valores para o arroz estão apresentados na Tabela 1, observando que os teores de umidade mostraram diferença estatística significativa entre elas, sendo o valor menor do arroz polido, e maior valor para o arroz integral parboilizado, possivelmente pela quantidade mais elevada de fibra. Os valores de cinzas encontrados são próximos aos valores descritos por Storck; Silva e Comarella (2005) no seu estudo da composição química em grãos submetidos a diferentes beneficiamentos, integral com maior valor 1,15 %, parboilizado e branco polido com 0,67% e 0,30% respectivamente, valores menores também neste estudo para essas amostras. Também houve diferença nos teores de fibra alimentar ( $p < 0,001$ ), sendo o arroz integral parboilizado aquele com maior teor de fibra e o arroz branco polido com o teor mais baixo.

Os teores de proteína não apresentaram diferença estatística significativa (p-valor=0,801), sendo o valor aproximado para as três variedades de 7%, valor semelhante encontrado para a variedade BRS Catiana estudada por Nogueira (2018), e valores menores aos encontrados por Mingotte; Hanashiro e Filho (2012) que registraram valores entre 8% e 13% em função da adubação nitrogenada. As amostras que apresentaram diferença estatística significativa ( $p < 0,001$ ) no teor de lipídeos, o integral parboilizado, apresentou o teor maior (2%), valores encontrados também por Storck; Silva e Comarella (2005), de 2,52% para o arroz integral, arroz parboilizado (0,69 %) e arroz branco polido (0,36 %).

Os teores de amido total das amostras polido e parboilizado, apresentaram diferença significativa ( $p < 0,001$ ) em comparação com a amostra integral parboilizado, sendo a amostra com menor teor de amido, (73%), valores semelhantes aos encontrados por Storck; Silva e Comarella (2005) para o arroz branco polido (88 %).



Tabela 1 - Composição proximal em base seca para as três amostras de arroz cru.

<b>Amostra</b>	<b>Umidade (%)</b>	<b>Cinzas (%)</b>	<b>Proteína (%)</b>	<b>Lipídeos (%)</b>	<b>Fibra Alimentar (%)</b>	<b>Teor de Amido (%)</b>	<b>Teor de Amilose (%)</b>
<b>Parboilizado</b>	11,58 ± 0,04 <sup>a</sup>	0,39 ± 0,03 <sup>b</sup>	6,80 ± 1,21 <sup>a</sup>	0,33 ± 0,00 <sup>b</sup>	6,2 ± 0,00 <sup>b</sup>	87,75 ± 3,90 <sup>a</sup>	26,80 ± 0,48 <sup>a</sup>
<b>Polido</b>	10,58 ± 0,04 <sup>c</sup>	0,28 ± 0,00 <sup>b</sup>	7,12 ± 0,69 <sup>a</sup>	0,50 ± 0,06 <sup>b</sup>	2,0 ± 0,00 <sup>c</sup>	90,10 ± 0,20 <sup>a</sup>	23,84 ± 2,91 <sup>a</sup>
<b>Integral Parboilizado</b>	11,25 ± 0,04 <sup>b</sup>	1,12 ± 0,00 <sup>a</sup>	7,17 ± 1,25 <sup>a</sup>	2,33 ± 0,00 <sup>a</sup>	15,1 ± 0,00 <sup>a</sup>	73,16 ± 0,30 <sup>b</sup>	-
<b>p-valor</b>	<0,001	<0,001	0,801	<0,001	<0,001	<0,001	

Valores médios ± desvio padrão. Dados com letras iguais na mesma coluna não são significativamente diferentes (p<0,05) pelo teste de Fisher

Tabela 2 - Composição proximal em base seca para as três amostras de feijões cru.

<b>Amostra</b>	<b>Umidade (%)</b>	<b>Cinzas (%)</b>	<b>Proteína (%)</b>	<b>Lipídeos (%)</b>	<b>Fibra Alimentar (%)</b>	<b>Teor de Amido (%)</b>	<b>Teor de Amilose (%)</b>
<b>Branco</b>	10,25 ± 0,00 <sup>a</sup>	3,58 ± 0,04 <sup>a</sup>	18,02 ± 0,25 <sup>b</sup>	0,83 ± 0,06 <sup>b</sup>	29,9 ± 0,03 <sup>a</sup>	49,51 ± 2,10 <sup>a</sup>	38,57 ± 0,03 <sup>a</sup>
<b>Carioca</b>	9,67 ± 0,04 <sup>b</sup>	3,67 ± 0,04 <sup>a</sup>	17,11 ± 0,14 <sup>b</sup>	1,33 ± 0,00 <sup>ab</sup>	29,1 ± 0,22 <sup>a</sup>	48,85 ± 0,60 <sup>a</sup>	39,17 ± 6,76 <sup>a</sup>
<b>Fradinho</b>	8,42 ± 0,05 <sup>c</sup>	3,70 ± 0,05 <sup>a</sup>	23,21 ± 0,78 <sup>a</sup>	1,99 ± 0,03 <sup>a</sup>	29,2 ± 0,02 <sup>a</sup>	48,34 ± 3,70 <sup>a</sup>	32,18 ± 0,12 <sup>b</sup>
<b>p-valor</b>	<0,001	0,637	<0,001	<0,01	0,142	0,747	<0,001

Valores médios ± desvio padrão. Dados com letras iguais na mesma coluna não são significativamente diferentes (p<0,05) pelo teste de Fisher

A concentração de amido no arroz pode variar devido a fatores genéticos e ambientais, como foi observado por Frei; Siddhuraju e Becker (2003). Outro estudo realizado por Pagnan; Bassinello e Prudencio (2015) em arroz branco cultivado em diferentes zonas, o teor de amido encontrado oscilou entre 83% até 89%. O valor encontrado neste estudo foi de 90% para arroz branco polido e 88 % para o parboilizado, não apresentando diferença estatística entre eles. Os teores de amilose não apresentaram diferença estatística significativa.

Na Tabela 2 estão os valores da composição proximal das amostras de feijão estudadas. Nos valores da umidade do feijão observa-se que existe uma diferença significativa entre as variedades ( $p < 0,001$ ; os valores de umidade variaram entre 8% e 10% e esses valores são adequados para garantir um bom armazenamento segundo as Instruções Normativas ou Portarias do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) (umidade máxima recomendada para o feijão é de 14%).

Enquanto os valores de cinzas nas três variedades de feijão não mostraram diferença significativa ( $p > 0,5$ ), valores próximos aos encontrados por Figueroa (2016) de 4%, para Branco, Carioca e Fradinho.

Os valores de lipídeos apresentaram diferença significativa ( $p < 0,01$ ), sendo o Fradinho a amostra com maior teor de lipídeos em comparação com as outras duas variedades que apresentaram um teor abaixo de 1%. Da mesma maneira o Fradinho apresentou o maior percentual proteico de 23%, mesmo valor encontrado por Kato (2014) para esta variedade, observando-se uma diferença significativa ( $p < 0,001$ ), entre os teores proteicos das amostras. Segundo com Yin et al. (2010), os teores de proteína no feijão podem variar entre 20% a 30% dependendo da cultivar/variedade.

O valor de fibra alimentar encontrado nas variedades de feijão foi de 29%, não havendo diferença significativa entre as três variedades, sendo valores próximos aos determinados por Figueroa (2016), onde a fibra alimentar em diferentes feijões, entre elas, Branco, Carioca e Fradinho variaram entre 21% e 32 % e para outras amostras até 35%.

Os teores de amido determinados nas três variedades de feijão não mostram diferença significativa, sendo o valor próximo a 49%, assim como o valor encontrado por Figueroa (2016) para Branco de 36%, Carioca de 41% e Fradinho de 34%, e valor encontrado por Bedin (2014) para feijão Carioca entre 48% a 52%. Os teores de amilose apresentam diferença estatística significativa. O feijão Fradinho apresentou os teores mais baixos de amilose, resultado que coincide com o descrito por Demiate et al. (2016), que relataram que o feijão Fradinho apresentou o teor mais baixo do grupo de feijões estudados (27 %). O feijão Carioca apresentou teor de amilose próximos aos encontrados por Basso Los (2019) com

valores de 41% e 42%. Marquezi et al. (2016) registraram valores de amilose de 49% e 51% para feijão Carioca.

## 5.2 PROPRIEDADES DE PASTA

Foram analisadas as propriedades de pasta das farinhas *in natura* e do amido isolado das amostras; os perfis de viscosidade foram comparados entre eles para observar os diferentes comportamentos de uma amostra que interatua com todos seus compostos e o comportamento do amido isolado da mesma amostra, conforme as Figuras 10, 11, 12, 13, 14, 15. No caso do arroz integral parboilizado foi analisada a farinha *in natura*, pela dificuldade na extração de amido não foi possível extrair as quantidades necessárias para as análises viscoamilográficas, calorimetria e difração de Raios X.

Figura 10 - Perfil viscoamilográfico da farinha *in natura* e amido de arroz parboilizado

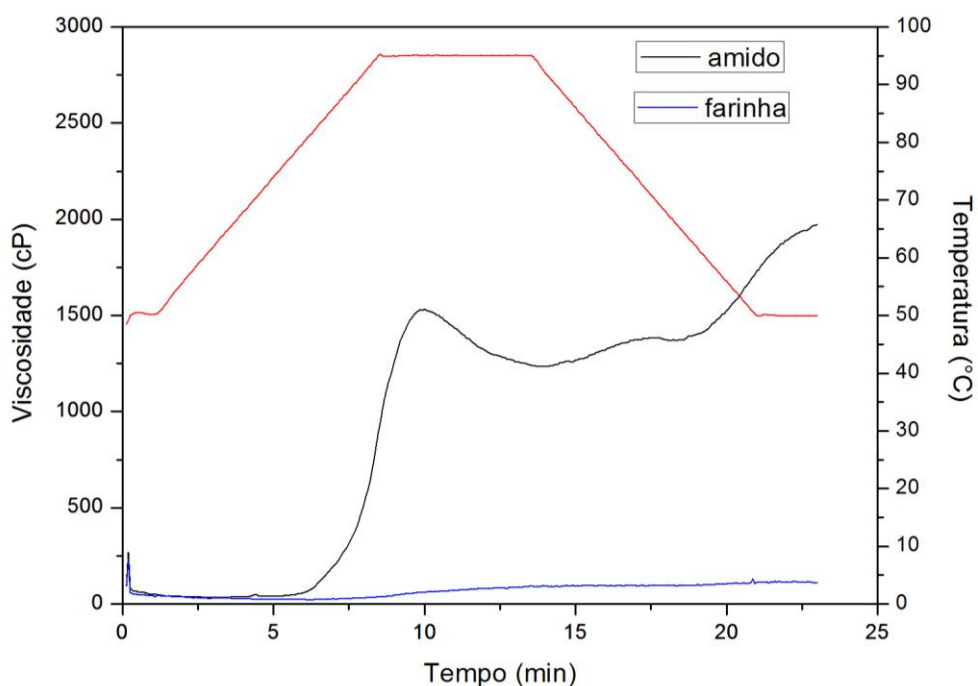


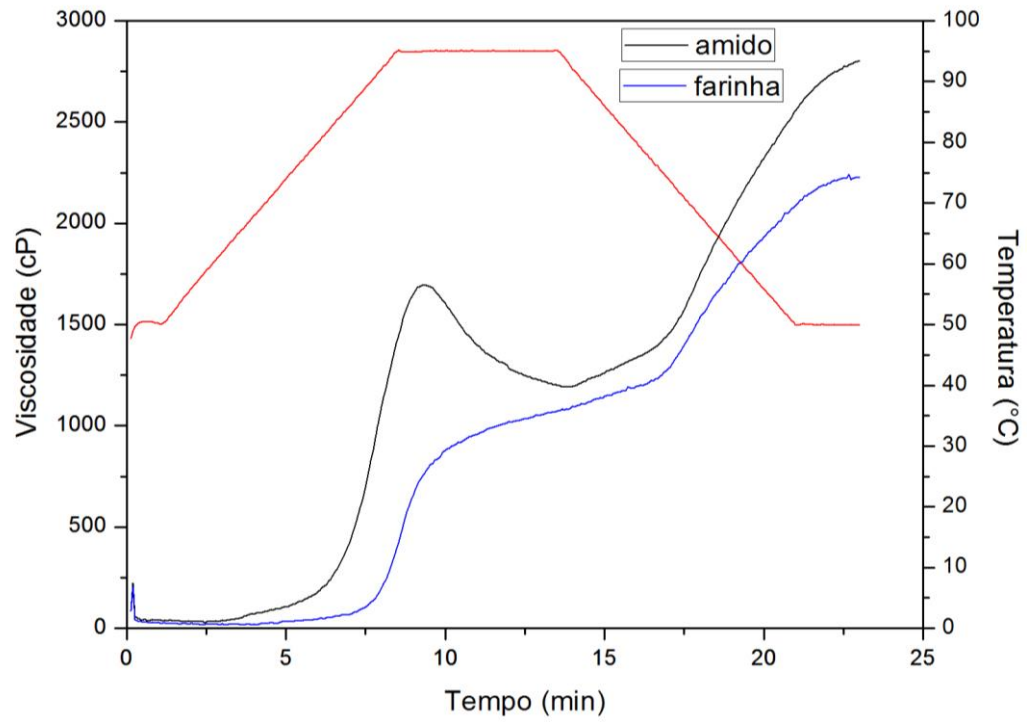
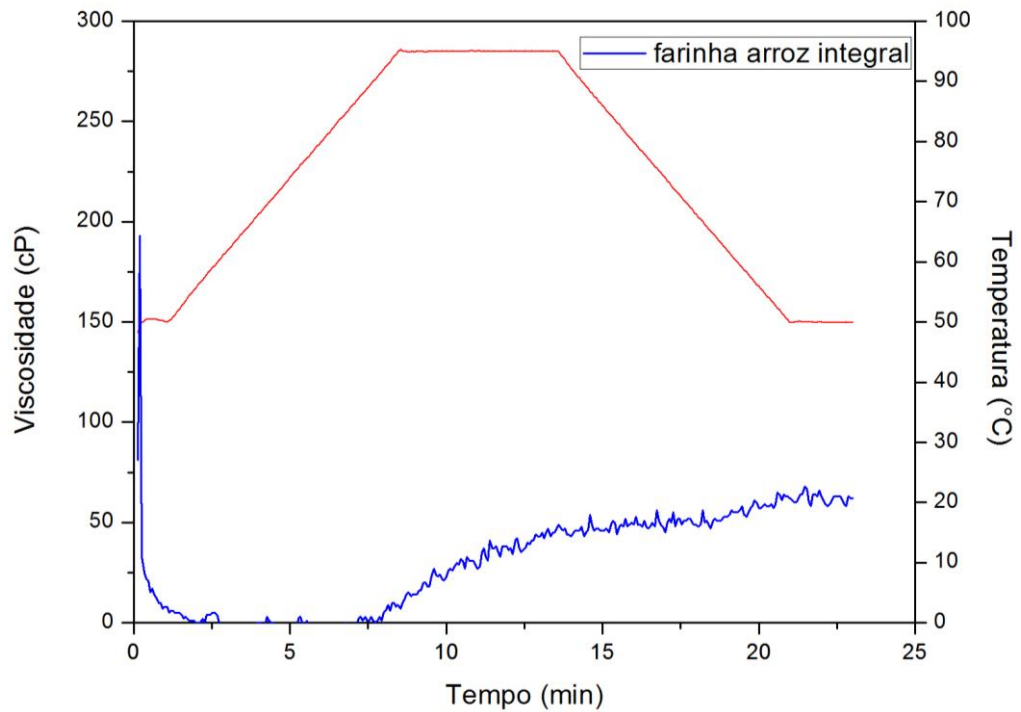
Figura 11 - Perfil viscoamilográfico da farinha *in natura* e amido de arroz polidoFigura 12 - Perfil viscoamilográfico da farinha *in natura* de arroz integral parboilizado

Figura 13 - Perfil viscoamilográfico da farinha *in natura* e amido de feijão Branco

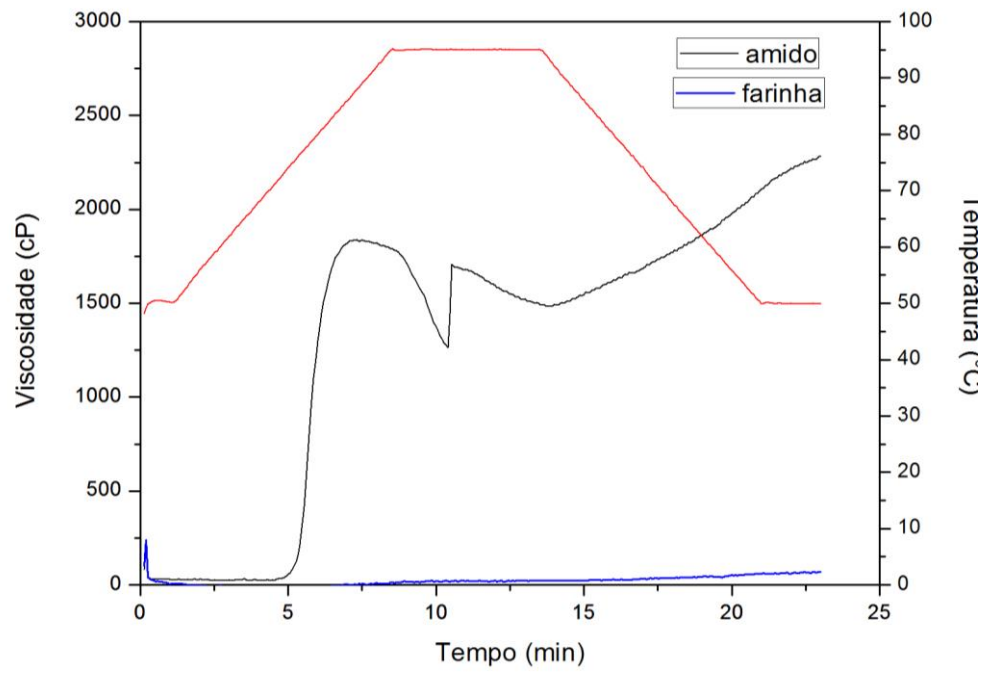


Figura 14 - Perfil viscoamilográfico da farinha *in natura* e amido de feijão Carioca

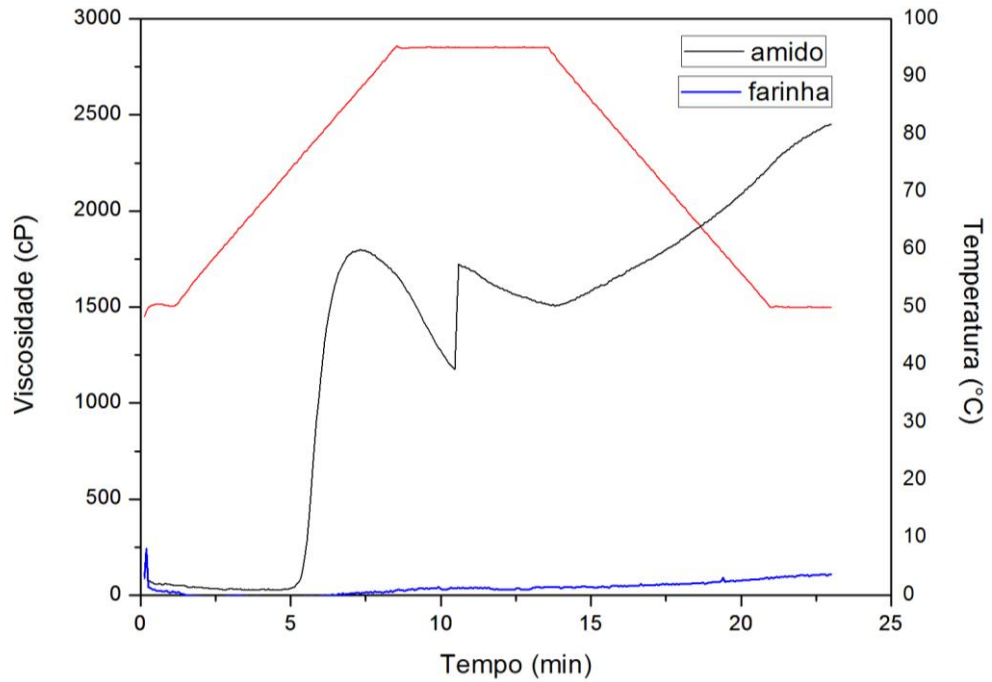
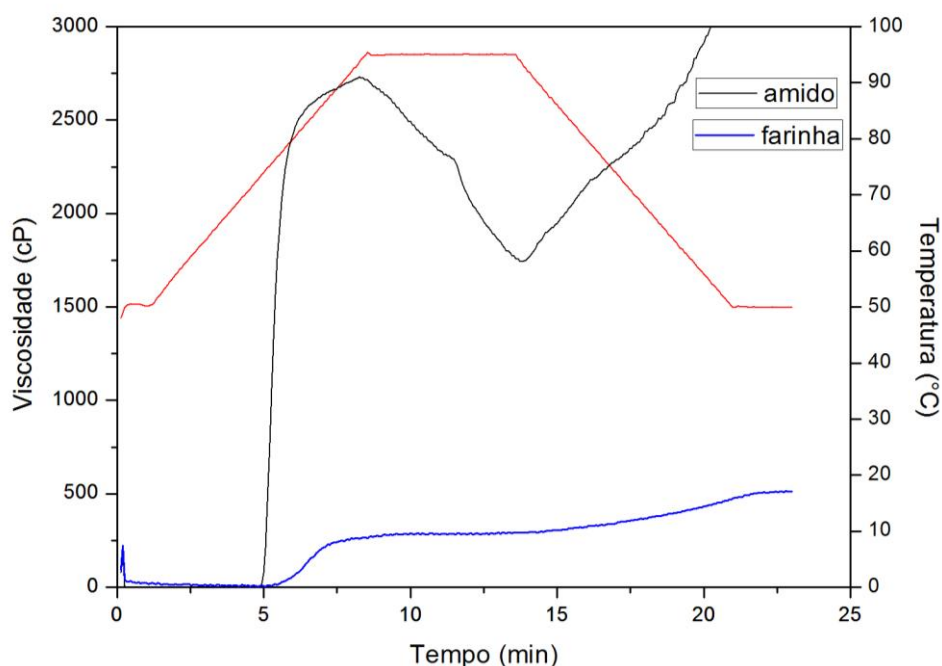


Figura 15 - Perfil viscoamilográfico da farinha *in natura* e amido de feijão Fradinho



Os comportamentos das farinhas *in natura* são diferentes ao comportamento padrão do amido, os picos de viscosidade são afetados pela composição das amostras, mostrando um gráfico quase imperceptível com menores parâmetros de viscosidade. Pode-se observar que além de submeter a temperaturas elevadas, as viscosidades das farinhas são muito baixas em comparação com as viscosidades dos amidos isolados.

A farinha de arroz polido (Figura 11) mostrou um comportamento mais parecido ao amido, e valores mais altos, apresentando um pico de viscosidade de 1054 cP e uma viscosidade final de 2225 cP, possivelmente por ser a amostra de arroz que apresentou maior teor de amido (90,10 %) na composição. Parâmetros mais baixos foram apresentados nas outras amostras, o arroz parboilizado apresentou maior viscosidade final de 110 cP que o integral parboilizado de 62 cP, valores mostrados na Tabela 3, mostrando que o beneficiamento pode influenciar na viscosidade do produto destinado para o consumo e que poderia influenciar no processamento de alimentos que utilizem como ingrediente o arroz.

Os comportamentos dos amidos foram característicos para cereais e leguminosas. Das amostras de arroz, o arroz polido, e dos feijões, o Fradinho, apresentaram a maior viscosidade final, maior pico de viscosidade, maior quebra da viscosidade e maior tendência a retrogradar, e apresentaram também as menores temperaturas de pasta, valores que estão mostrados na Tabela 4. Essas amostras foram as que apresentaram menores teores de amilose, e estas diferenças nos parâmetros podem ser atribuídas à pureza do amido, à razão

amilose:amilopectina e tamanho do grânulo. Quanto maior o valor da quebra de viscosidade indica a maior resistência ao cisalhamento, ou seja, maior estabilidade do amido nos processos de aquecimento (MA; BOYE, 2018).

O amido aquecido em excesso de água passa por uma transição, chamada gelatinização, por um intervalo de tempo e a uma temperatura controlada, absorve água, incha, alterando a cristalinidade e forma uma pasta ou gel. A partir das curvas de viscosidade pode-se observar o grau de desintegração do amido e se existe tendência a retrogradar (HOOVER; RATNAYAKE, 2002; COPELAND et al., 2009).

A maioria dos amidos das leguminosas mostra altas temperaturas de pasta e alta tendência a retrogradar (HOOVER et al., 2010), comportamento que foi observado nas amostras estudadas, feijão Branco, Carioca e Fradinho.

As viscosidades foram semelhantes às aquelas relatadas por Demiate et al. (2016), reforçando o mencionado pelos autores no estudo realizado com amidos de diferentes variedades de feijão, que se os grãos fossem consumidos diretamente como sementes inteiras cozidas, eles apresentariam diferenças consideráveis na viscosidade, diferenças que podem ser percebidas também ao se observar os perfis viscoamilográficos dos amidos e das farinhas *in natura* das amostras.

Tabela 3 - Propriedades de pasta das farinhas *in natura* de arroz e de feijão.

<b>Amostra</b>	<b>Viscosidade Pico cP</b>	<b>Viscosidade Mínima cP</b>	<b>Quebra da Viscosidade cP</b>	<b>Viscosidade Final cP</b>	<b>Setback cP</b>	<b>Tempo de viscosidade Pico cP</b>	<b>Temperatura de Pasta °C</b>
A. Parboilizado	87	85	2	110	25	12,93	-
A. Polido	1054	1054	0	2225	1171	12,87	91,5
A. Integral Parboilizado	44	42	2	62	20	12,87	-
F. Branco	23	20	3	68	48	11,07	-
F. Carioca	44	38	6	108	70	9,93	-
F. Fradinho	292	286	6	512	226	13	-

Tabela 4 - Propriedades de pasta dos amidos de arroz e de feijão.

<b>Amostra</b>	<b>Viscosidade Pico cP</b>	<b>Viscosidade Mínima cP</b>	<b>Quebra da Viscosidade cP</b>	<b>Viscosidade Final cP</b>	<b>Setback cP</b>	<b>Tempo de viscosidade Pico cP</b>	<b>Temperatura de Pasta °C</b>
A. Parboilizado	1532	1234	298	1969	765	10	87,25
A. Polido	1695	1191	504	2798	1607	9,33	82,35
F. Branco	1838	1483	355	2281	798	7,33	74,80
F. Carioca	1798	1505	293	2450	945	7,33	75,65
F. Fradinho	2729	1743	986	3418	1675	8,27	73,65



### 5.3 CALORIMETRIA EXPLORATÓRIA DIFERENCIAL (DSC)

Os valores encontrados para o DSC dos amidos de arroz e feijão estão representados nas Tabelas 5 e 6, e as endotermas nas Figuras 16 e 17, respetivamente.

Observa-se as variações de entalpia ( $\Delta H$ ) o arroz parboilizado é menor que para o arroz polido, pode ser devido ao tipo de beneficiamento do arroz parboilizado, que sofre uma pré-gelatinização e por isso o amido só requiere de uma força menor para concluir esta ação, (Figura 16), a curva é menor que no caso do arroz polido. O  $\Delta H$  nos indica a energia necessária para obter uma gelatinização completa do material, o amido pode exibir diferentes e específicas temperaturas de entalpias associadas com as endotermas (BENINCA, 2008). Observa-se também (Tabela 6) o comportamento dos amidos, mostra diferença significativa ( $p < 0,001$ ) entre eles, precisando de uma maior entalpia o feijão Fradinho, possivelmente pelo menor teor de amilose que apresenta, como foi relatado por Singh et al. (2003) que o amido com maior teor de amilose tem maior região amorfa, e perde região de cristalinidade a menor temperatura de gelatinização. Resultados que são reforçados pelos dados obtidos na análise viscoamilográfica, onde a temperatura de pasta foi menor assim como a temperatura de pico observada para a gelatinização de aproximadamente 70 °C.

O processo de gelatinização iniciou a temperaturas próximas aos 65 °C, os picos de gelatinização nos 70 °C, e a conclusão do evento em torno de 76 °C, temperaturas que mostraram diferença estatística significativa,  $p < 0,001$  nas três variedades de feijão estudadas.

Figura 16 - Endotermas obtidas por DSC dos amidos de arroz parboilizado e arroz polido.

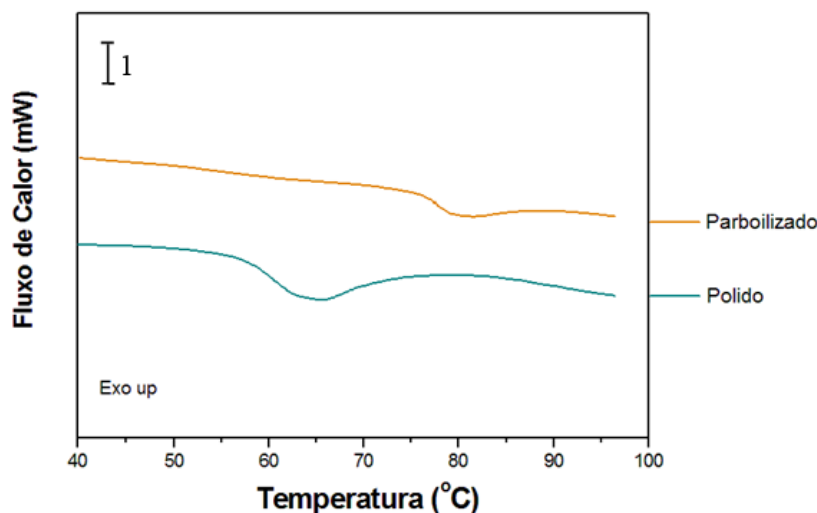


Figura 17 - Endotermas obtidos por DSC dos amidos das três variedades de feijão.

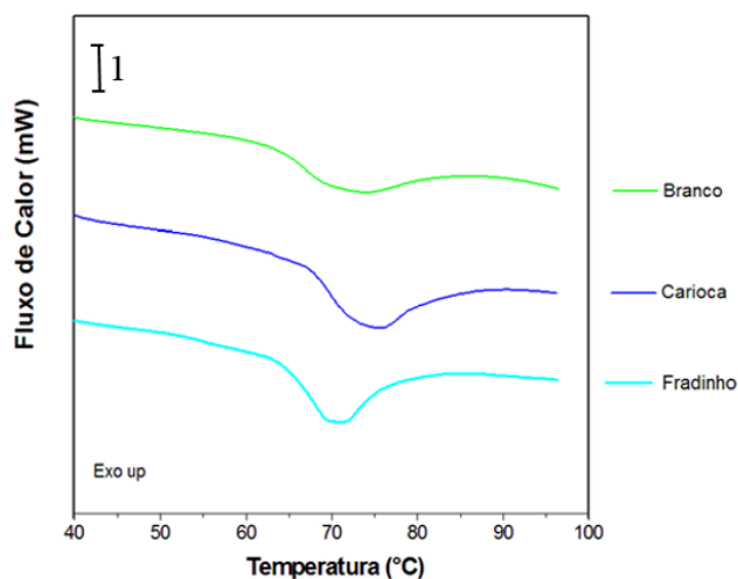


Tabela 5 - Parâmetros da análise calorimétrica exploratória (DSC) dos amidos de arroz.

Amostra	T <sub>0</sub>	T <sub>p</sub>	T <sub>c</sub>	ΔH
Parboilizado	76,5 ± 0,01 <sup>a</sup>	79,6 ± 0,00 <sup>a</sup>	85,8 ± 0,28 <sup>a</sup>	1,6 ± 0,02 <sup>b</sup>
Polido	57,4 ± 0,12 <sup>b</sup>	65,1 ± 0,00 <sup>b</sup>	73,7 ± 0,11 <sup>b</sup>	4,5 ± 0,06 <sup>a</sup>
p-valor	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

Os valores de entalpia de gelatinização ( $\Delta H_{gel}$ ) são expressos em  $Jg^{-1}$  de amidos secos; T<sub>0</sub> = temperatura onset (°C), T<sub>p</sub> = temperatura de pico (°C) e T<sub>f</sub> = temperatura final (°C).

Tabela 6 - Parâmetros da análise calorimétrica exploratória (DSC) dos amidos de feijão.

Amostra	T <sub>0</sub>	T <sub>p</sub>	T <sub>f</sub>	ΔH
Branco	64,5 ± 0,01 <sup>b</sup>	72,3 ± 0,02 <sup>b</sup>	80,8 ± 1,09 <sup>a</sup>	4,5 ± 0,03 <sup>b</sup>
Carioca	67,5 ± 0,00 <sup>a</sup>	73,3 ± 0,65 <sup>a</sup>	81,4 ± 0,03 <sup>a</sup>	4,6 ± 0,01 <sup>b</sup>
Fradinho	65,3 ± 0,64 <sup>b</sup>	69,7 ± 0,00 <sup>c</sup>	76,1 ± 0,82 <sup>b</sup>	5,3 ± 0,24 <sup>a</sup>
p-valor	<0,001	<0,001	<0,001	<0,01

Os valores de entalpia de gelatinização ( $\Delta H_{gel}$ ) são expressos em  $Jg^{-1}$  de amidos secos; T<sub>0</sub> = temperatura onset (°C), T<sub>p</sub> = temperatura de pico (°C) e T<sub>f</sub> = temperatura final (°C).

## 5.4 DIFRAÇÃO DE RAIOS X

Foram analisados por difração de raios X dos amidos de arroz e feijão que estão apresentados nas Figuras 18 e 19 respectivamente. As Figuras 20 e 21 mostram a difração de raios X das farinhas extrusadas de arroz e feijão respectivamente, com intenção de comparar e compreender que acontece com a estrutura quando a matéria é submetida a processos drásticos de cozimento e cisalhamento como no caso da extrusão e que são demonstradas nas mudanças dos padrões de difração.

Figura 18 - Difração de raios X dos amidos de arroz parboilizado e polido.

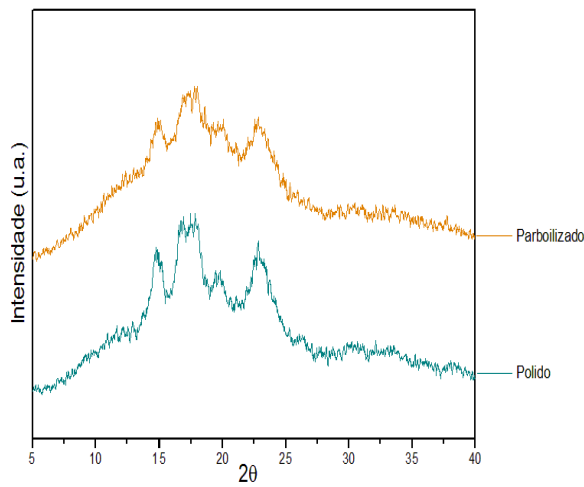


Figura 20 - Difração de raios X das farinhas de extrusados de arroz.

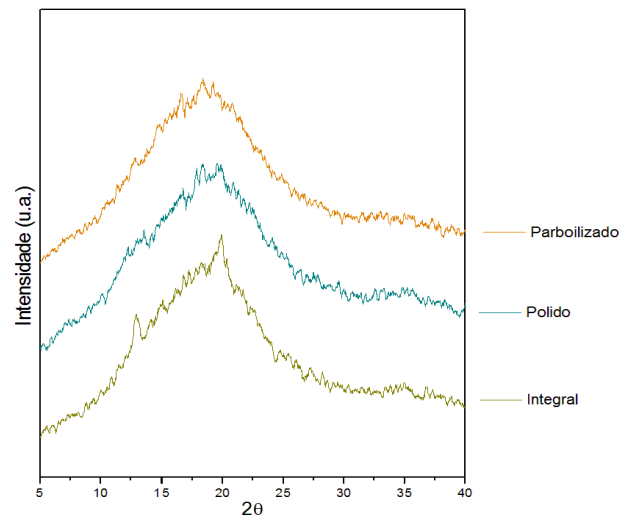


Figura 19 - Difração de raios X dos amidos das três variedades de feijão.

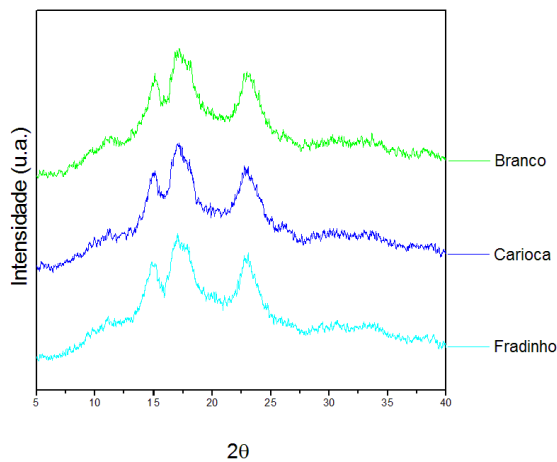
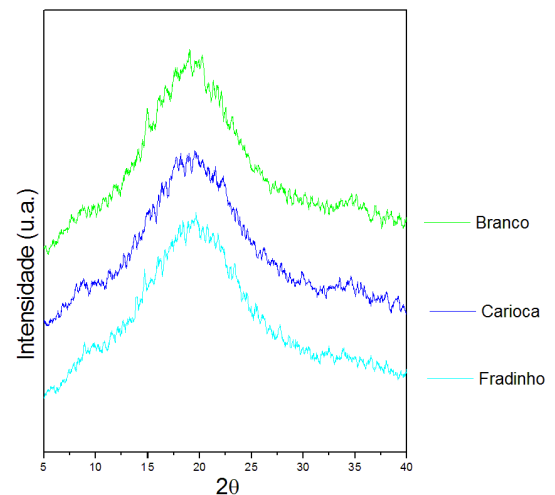


Figura 21 - Difração de raios X das farinhas de extrusados de feijão.



Os amidos, conforme os padrões de difração de raios X, podem ser classificados a partir dos picos de maior intensidade, como Tipo A com picos em 15, 17, 18 e 23°, Tipo B com picos em 5,6, 15, 17, 18 e 23° e Tipo C, que apresentam picos em 2 $\theta$  misturados de A e B. Alguns cereais apresentam padrões de tipo A, outros podem apresentar de tipo B, se possuem elevado teor de amilose, as tuberosas e raízes também apresentam tipo B e as leguminosas de tipo C (BEDIN, 2014; HOOVER; RATNAYAKE, 2002).

Os amidos de arroz (Figura 18) exibiram, na difração de raios X, picos característicos de padrões de tipo A, correspondentes a cereais e os amidos de feijão (Figura 19) padrões de tipo C, característicos às leguminosas. Nas Figuras 20 e 21 os picos mostrados na gráfica de difração são completamente diferentes, não é possível observar os picos característicos para feijão e arroz, visivelmente é observado um pico maior em ambos casos, para arroz e feijão, pode ser porque as Figuras 20 e 21 mostram difrações das farinhas dos extrusados, ou seja, de uma amostra com todos seus componentes, submetido a um processo drástico.

Um fato parecido foi mencionado também por Piroski (2019), no seu estudo de farinhas de mandioca, onde em temperaturas mais elevadas de secagem os picos não foram evidentes como os que apresentam os amidos na forma nativa.

## 5.5 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (FEG)

Por meio da microscopia eletrônica de varredura com emissão de campo (FEG) foi possível fazer imagens das farinhas *in natura* e das farinhas dos extrusados como mostram as Figuras 22 para arroz e 23 para feijão.

Nas imagens de arroz das farinhas *in natura* e extrusados as mudanças são difíceis de perceber, considerando que não são imagens de amido isolado, são imagem que mostram a conformação das farinhas com todos seus componentes, e que o comprimento dos amidos de arroz são muito menores. Na farinha *in natura* de feijão, é possível ver os amidos de feijão, isso porque os grânulos dos amidos são maiores. Nas imagens dos extrusados de feijão observasse-se diferenças, os grânulos de amido são imperceptíveis, isto porque o processo de extrusão que é um processamento drástico, gelatinizou os amidos, deixando os grânulos sem a estrutura esférica característica.

Figura 22 - Imagens de FEG para as farinhas *in natura* e extrusadas de arroz.

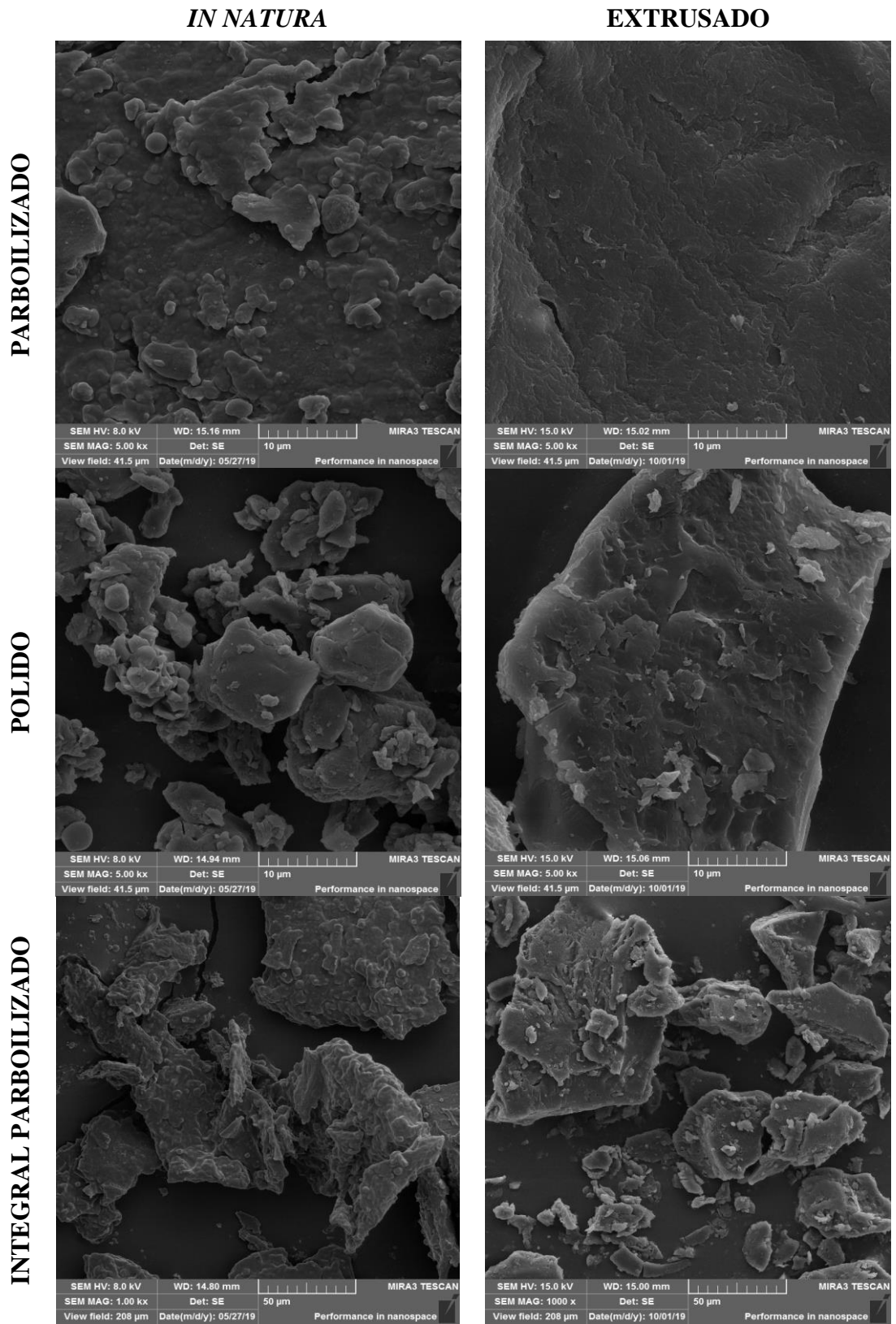
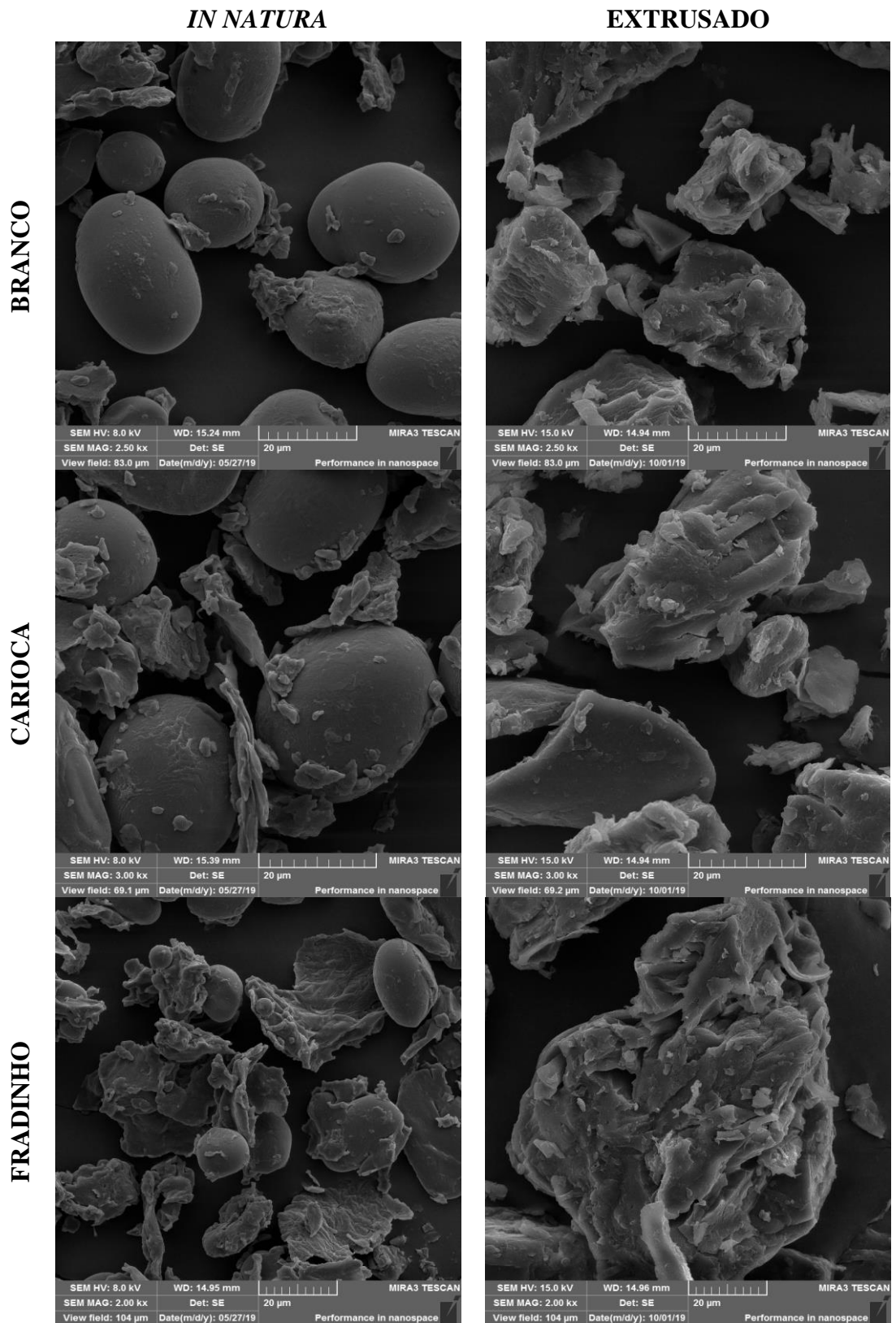


Figura 23 - Imagens de FEG para as farinhas *in natura* e extrusadas de feijão.



## 5.6 ABSORÇÃO DE GORDURA (AG) E ÁGUA E ÍNDICE DE SOLUBILIDADE EM ÁGUA (ISA) DOS EXTRUSADOS

Foram analisadas a absorção de óleo e água e o índice de solubilidade em água das farinhas obtidas dos extrusados de arroz e feijão, mostradas nas Tabelas 7 e 8, respectivamente. Estes parâmetros permitem avaliar o grau de cozimento do produto final (LUSTOSA; LEONEL; MISCHAN, 2009). Observa-se que os valores são elevados, possivelmente pela gelatinização que sofreram as amostras ao serem submetidas a umidade e temperaturas elevadas na extrusão, produzindo modificação na estrutura do amido e nas cadeias com abertura das duplas hélices, tornando a entrada de água muito mais fácil. Ideia que pode ser reforçada se comparamos a absorção de água de diferentes genótipos de arroz cru estudados por Pagnan; Bassinello e Prudencio (2015), onde os valores oscilam entre 110,44% e 219,90%, em comparação às determinadas para os extrusados de arroz que oscilam entre 574,29% e 713,29%. Os três tipos de arroz mostraram diferença estatística significativa. O arroz parboilizado apresentou a menor porcentagem de absorção de água, possivelmente por apresentar maior umidade, absorveu menor porcentagem de água.

Tabela 7 - Valores de absorção de óleo/água e solubilidade em água das farinhas de extrusados de arroz.

<b>Amostra</b>	<b>Absorção de Óleo (%)</b>	<b>Absorção de Água (%)</b>	<b>Solubilização em Água (%)</b>
Parboilizado	108,91 ± 0,40 <sup>a</sup>	574,20 ± 3,78 <sup>b</sup>	12,74 ± 0,00 <sup>b</sup>
Polido	83,14 ± 3,40 <sup>b</sup>	603,99 ± 7,28 <sup>a</sup>	10,96 ± 0,89 <sup>c</sup>
Integral Parboilizado	63,03 ± 4,96 <sup>c</sup>	713,29 ± 9,88 <sup>a</sup>	19,28 ± 0,19 <sup>a</sup>
p-valor	<0,001	<0,001	<0,001

Tabela 8 - Valores de absorção de óleo/água e solubilidade em água das farinhas de extrusados de feijão.

<b>Amostra</b>	<b>Absorção de Óleo (%)</b>	<b>Absorção de Água (%)</b>	<b>Solubilização em Água (%)</b>
Branco	60,49 ± 1,18 <sup>c</sup>	447,77 ± 8,53 <sup>c</sup>	25,77 ± 0,87 <sup>b</sup>
Carioca	74,97 ± 1,44 <sup>b</sup>	451,42 ± 1,50 <sup>b</sup>	31,07 ± 2,52 <sup>a</sup>
Fradinho	81,39 ± 0,37 <sup>a</sup>	565,89 ± 4,88 <sup>a</sup>	27,77 ± 0,49 <sup>b</sup>
p-valor	<0,001	<0,001	<0,001

No caso dos feijões, o Fradinho apresentou maiores porcentagens de absorção de óleo e água, e foi a variedade que apresentou maior pico de viscosidade também, demonstrando assim maior poder de inchamento, se bem quanto maior amilose, maior é o nível de associação entre moléculas lineares, porém menor é a solubilidade, e os feijões apresentam maior quantidade de amilose, a explicação novamente está em que quanto mais o amido esteja gelatinizado, maior será seu poder de solubilidade. Fato também registrado por Figueroa (2016).

### 5.7 DIGESTIBILIDADE *IN VITRO*

Para a realização dos cálculos de digestibilidade dos extrusados foi feita a análise de amido total para as farinhas das amostras extrusadas, obtendo os seguintes valores para as amostras de arroz: parboilizado 83,8%, polido 92,7% e integral parboilizado 82,1%, para os feijões: Branco 45,7%, Carioca 48,4% e Fradinho 45,8%.

Os resultados da digestibilidade *in vitro* das amostras estão apresentadas nas Tabelas 9 e 10, o coeficiente de correlação de Pearson para ambas amostras estão apresentadas a continuação nas Tabelas 11 e 12, respectivamente.



Tabela 9 - Digestibilidade *in vitro* de arroz cozido, congelado-reaquecido e extrusado.

	<b>Amostra</b>	<b>RDS %</b>	<b>SDS %</b>	<b>RS %</b>
COZIDO	Parboilizado	62,1 ± 0,4 <sup>b</sup>	18,4 ± 11,8 <sup>b</sup>	19,5 ± 7,7 <sup>a</sup>
	Polido	72,4 ± 1,6 <sup>a</sup>	12,4 ± 0,4 <sup>b</sup>	15,2 ± 3,6 <sup>a</sup>
	Integral Parboilizado	48,4 ± 0,9 <sup>c</sup>	36,7 ± 0,4 <sup>a</sup>	14,9 ± 0,1 <sup>a</sup>
p-valor		<0,001	<0,001	0,160
CONGELADO E REAQUECIDO	Parboilizado	83,4 ± 1,7 <sup>b</sup>	15,1 ± 0,5 <sup>a</sup>	2,5 ± 0,3 <sup>a</sup>
	Polido	98,2 ± 0,6 <sup>a</sup>	2,2 ± 7,9 <sup>b</sup>	0,0 ± 0,0 <sup>b</sup>
	Integral Parboilizado	95,7 ± 3,7 <sup>a</sup>	5,0 ± 0,2 <sup>b</sup>	0,0 ± 0,0 <sup>b</sup>
p-valor		<0,001	<0,001	<0,001
EXTRUSADO	Parboilizado	98,5 ± 0,2 <sup>b</sup>	7,4 ± 0,0 <sup>a</sup>	0,0 ± 0,0
	Polido	102,4 ± 0,0 <sup>a</sup>	0,0 ± 0,0 <sup>b</sup>	0,0 ± 0,0
	Integral Parboilizado	101,8 ± 1,3 <sup>a</sup>	0,0 ± 0,0 <sup>b</sup>	0,0 ± 0,0
p-valor		<0,001	<0,001	

Os resultados são médias ± desvio padrão da análise duplicada. Letras diferentes nas colunas significam diferença significativa pelo teste Tukey (p <0,05).

Nota: RDS (amido de rápida digestão), SDS (amido de lenta digestão) e RS (amido resistente).

Tabela 10 - Digestibilidade *in vitro* de feijão cozido, congelado-reaquecido e extrusado.

	<b>Amostra</b>	<b>RDS %</b>	<b>SDS %</b>	<b>RS %</b>
COZIDO	Branco	54,2 ± 1,3 <sup>b</sup>	1,7 ± 0,0 <sup>c</sup>	44,1 ± 1,6 <sup>a</sup>
	Carioca	40,4 ± 0,0 <sup>c</sup>	34,3 ± 0,3 <sup>a</sup>	25,3 ± 0,4 <sup>b</sup>
	Fradinho	86,7 ± 0,8 <sup>a</sup>	8,5 ± 0,1 <sup>b</sup>	4,8 ± 1,2 <sup>c</sup>
p-valor		<0,001	<0,001	<0,001
CONGELADO E REAQUECIDO	Branco	62,5 ± 0,7 <sup>b</sup>	17,0 ± 1,0 <sup>a</sup>	20,5 ± 0,0 <sup>b</sup>
	Carioca	61,0 ± 1,4 <sup>b</sup>	3,4 ± 0,4 <sup>c</sup>	35,6 ± 0,3 <sup>a</sup>
	Fradinho	81,6 ± 5,7 <sup>a</sup>	9,4 ± 2,4 <sup>b</sup>	8,9 ± 0,7 <sup>c</sup>
p-valor		<0,001	<0,001	<0,001
EXTRUSADO	Branco	91,9 ± 1,5 <sup>b</sup>	8,4 ± 6,9 <sup>b</sup>	0,4 ± 0,3 <sup>b</sup>
	Carioca	77,1 ± 0,3 <sup>c</sup>	18,7 ± 2,2 <sup>a</sup>	4,2 ± 0,8 <sup>a</sup>
	Fradinho	94,1 ± 0,0 <sup>a</sup>	8,1 ± 6,4 <sup>b</sup>	0,0 ± 0,0 <sup>b</sup>
p-valor		<0,001	<0,001	<0,001

Os resultados são médias ± desvio padrão da análise duplicada. Letras diferentes nas colunas significam diferença significativa pelo teste Tukey (p <0,05).

Nota: RDS (amido de rápida digestão), SDS (amido de lenta digestão) e RS (amido resistente).

Tabela 11 - Coeficiente de correlação de Pearson entre os parâmetros selecionados para as amostras de arroz.

(continua)

	<b>RDS cozido</b>	<b>SDS cozido</b>	<b>RS cozido</b>	<b>RDS reaquecido</b>	<b>SDS reaquecido</b>	<b>RS reaquecido</b>	<b>RDS extrusado</b>	<b>SDS extrusado</b>	<b>RS extrusado</b>
Umidade	-0,5921	0,4156	0,7164	-0,8513	0,8740	0,7559	-0,8389	0,7559	--
	p=0,597	p=0,727	p=0,492	p=0,352	p=0,323	p=0,454	p=0,366	p=0,454	p=---
Cinzas	-0,9489	<b>0,9933</b>	-0,4436	0,2376	-,01936	-0,3906	0,2601	-0,3906	--
	p=0,204	<b>p=0,074</b>	p=0,707	p=0,847	p=0,876	p=0,745	p=0,833	p=0,745	p=---
Proteínas	-0,2037	0,3988	<b>-0,9978</b>	0,9593	-0,9456	<b>-0,9922</b>	0,9655	<b>-0,9922</b>	--
	p=0,869	p=0,739	<b>p=0,042</b>	p=0,182	p=0,211	<b>p=0,080</b>	p=0,168	<b>p=0,080</b>	p=---
Lipídeos	-0,8685	0,9512	-0,6109	0,4236	-0,3824	-0,5636	0,4445	-0,5636	--
	p=0,330	p=0,200	p=0,582	p=0,722	p=0,750	p=0,619	p=0,707	p=0,619	p=---
Fibra	<b>-0,9917</b>	<b>0,9971</b>	-0,2641	0,0475	-0,0025	-0,2074	0,0706	-0,2074	--
	<b>p=0,082</b>	<b>p=0,049</b>	p=0,830	p=0,970	p=0,998	p=0,867	p=0,955	p=0,867	p=---
Amido Total	<b>0,9509</b>	<b>-0,9940</b>	0,4378	-0,2312	0,1872	0,3846	-0,2537	0,3846	--
	<b>p=0,200</b>	<b>p=0,070</b>	p=0,712	p=0,851	p=0,880	p=0,749	p=0,837	p=0,749	p=---
Amido dos Extrusados	0,8975	-0,7889	-0,3130	0,5125	-0,5506	-0,3679	<b>0,4924</b>	-0,3679	--
	p=0,291	p=0,421	p=0,797	p=0,657	p=0,629	p=0,760	<b>p=0,672</b>	p=0,760	p=---
Amilose	-0,4291	0,2362	<b>0,8354</b>	-0,9351	0,9501	<b>0,8660</b>	-0,9266	0,8660	--
	p=0,718	p=,848	<b>p=0,371</b>	p=0,231	p=0,202	<b>p=0,333</b>	p=0,245	p=0,333	p=---
RDS cozido	1,0000	-0,9790	0,1380	0,0812	-0,1260	0,0800	0,0581	0,0800	--
	p=---	p=0,131	p=0,912	p=0,948	p=0,920	p=0,949	p=0,963	p=0,949	p=---
SDS cozido	-0,9790	1,0000	-0,3368	0,1234	-0,0787	-0,2813	0,1464	-0,2813	--
	p=0,131	p=---	p=0,781	p=0,921	p=0,950	p=0,818	p=0,906	p=0,818	p=---
RS cozido	0,1380	-0,3368	1,0000	-0,9759	0,9651	<b>0,9983</b>	-0,9807	<b>0,9983</b>	--
	p=0,912	p=0,781	p=---	p=0,140	p=0,169	<b>p=0,037</b>	p=0,125	<b>p=0,037</b>	p=---

Valores em vermelho são significativos para  $p < 0,10$ .

Tabela 11 - Coeficiente de correlação de Pearson entre os parâmetros selecionados para as amostras de arroz.

(conclusão)

	RDS cozido	SDS cozido	RS cozido	RDS reaquecido	SDS reaquecido	RS reaquecido	RDS extrusado	SDS extrusado	RS extrusado
RDS reaquecido	0,0812	0,1234	-0,9759	1,0000	-0,9990	-0,9870	0,9997	-0,9870	--
	p=0,948	p=0,921	p=0,140	p=---	p=0,029	p=0,103	p=0,015	p=0,103	p=---
SDS reaquecido	-0,1260	-0,0787	0,9651	-0,9990	1,0000	0,9788	-0,9977	0,9788	--
	p=0,920	p=0,950	p=0,169	p=0,029	p=---	p=0,131	p=0,043	p=0,131	p=---
RS reaquecido	0,0800	-0,2813	0,9983	-0,9870	0,9788	1,0000	-0,9905	1,0000	--
	p=0,949	p=0,818	p=0,037	p=0,103	p=0,131	p=---	p=0,088	p=---	p=---
RDS extrusado	0,0581	0,1464	-0,9807	0,9997	-0,9977	-0,9905	1,0000	-0,9905	--
	p=0,963	p=0,906	p=0,125	p=0,015	p=0,043	p=0,088	p=---	p=0,088	p=---
SDS extrusado	0,0800	-0,2813	0,9983	-0,9870	0,9788	1,0000	-0,9905	1,0000	--
	p=0,949	p=0,818	p=0,037	p=0,103	p=0,131	p=---	p=0,088	p=---	p=---
RS extrusado	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	p=---	p=---	p=---	p=---	p=---	p=---	p=---	p=---	p=---
Absorção de óleo	0,5078	-0,6726	0,9233	-0,8174	0,7906	0,8993	-0,8305	0,8993	--
	p=0,661	p=0,530	p=0,251	p=0,391	p=0,420	p=0,288	p=0,376	p=0,288	p=---
Solubilidade	-0,9674	0,9987	-0,3842	0,1737	-0,1292	-0,3297	0,1965	-0,3297	--
	p=0,163	p=0,032	p=0,749	p=0,889	p=0,918	p=0,786	p=0,874	p=0,786	p=---
Absorção de água	-0,3310	0,5162	-0,9803	0,9136	-0,8944	-0,9671	0,9228	-0,9671	--
	p=0,785	p=0,655	p=0,127	p=0,267	p=0,295	p=0,164	p=0,252	p=0,164	p=---

Valores em vermelho são significativos para  $p < 0,10$ .

Tabela 12 - Coeficiente de correlação de Pearson entre os parâmetros selecionados para as amostras de feijão.

(continua)

	<b>RDS cozido</b>	<b>SDS cozido</b>	<b>RS cozido</b>	<b>RDS reaquecido</b>	<b>SDS reaquecido</b>	<b>RS reaquecido</b>	<b>RDS extrusado</b>	<b>SDS extrusado</b>	<b>RS extrusado</b>
Umidade	-0,8183	0,0067	0,9837	-0,9276	0,3728	0,6095	-0,3192	0,2318	0,2798
	p=0,390	p=0,996	p=0,115	p=0,244	p=0,757	p=0,583	p=0,793	p=0,851	p=0,819
Cinzas	0,4871	0,4285	-0,9640	0,6730	-0,7390	-0,2044	-0,1244	0,2140	0,1653
	p=0,676	p=0,718	p=0,171	p=0,530	p=0,471	p=0,869	p=0,921	p=0,863	p=0,894
Proteínas	<b>0,9877</b>	-0,4459	-0,8045	<b>0,9974</b>	0,0733	-0,8961	0,7035	-0,6360	-0,6736
	<b>p=0,100</b>	p=0,706	p=0,405	<b>p=0,046</b>	p=0,953	p=0,293	p=0,503	p=0,561	p=0,530
Lipídios	0,7388	0,1201	<b>-0,9986</b>	0,8727	-0,4875	-0,5041	0,1964	-0,1065	-0,1558
	p=0,471	p=0,923	<b>p=0,034</b>	p=0,325	p=0,676	p=0,664	p=0,874	p=0,932	p=0,900
Fibra	-0,1058	-0,7484	0,7827	-0,3292	0,9440	-0,1957	0,5035	-0,5798	-0,5387
	p=0,933	p=0,462	p=0,428	p=0,786	p=0,214	p=0,875	p=0,664	p=0,606	p=0,638
Amido Total	-0,6276	-0,2698	<b>0,9951</b>	-0,7883	0,6146	0,3668	-0,0449	-0,0460	0,0037
	p=0,568	p=0,826	<b>p=0,063</b>	p=0,422	p=0,579	p=0,761	p=0,971	p=0,971	p=0,998
Amido dos Extrusados	-0,7079	0,9860	-0,0064	-0,5286	-0,8493	0,8864	<b>-0,9887</b>	<b>0,9982</b>	<b>0,9940</b>
	p=0,499	p=0,107	p=0,996	p=0,645	p=0,354	p=0,306	<b>p=0,096</b>	<b>p=0,038</b>	<b>p=0,070</b>
Amilose	-0,9763	0,3904	<b>0,8393</b>	<b>-0,9999</b>	-0,0123	<b>0,8673</b>	-0,6588	0,5877	<b>0,6272</b>
	p=0,139	p=0,745	<b>p=0,366</b>	<b>p=0,007</b>	p=0,992	<b>p=0,332</b>	p=0,542	p=0,600	<b>p=0,568</b>
RDS cozido	1,0000	-0,5803	-0,7017	0,9738	0,2284	-0,9545	0,8059	-0,7488	-0,7808
	p= ---	p=0,606	p=0,505	p=0,146	p=0,853	p=0,193	p=0,403	p=0,461	p=0,430
SDS cozido	-0,5803	1,0000	-0,1729	-0,3798	-0,9254	0,7969	-0,9498	0,9743	0,9619
	p=0,606	p= ---	p=0,889	p=0,752	p=0,247	p=0,413	p=0,203	p=0,145	p=0,176
RS cozido	-0,7017	-0,1729	1,0000	-0,8454	0,5334	0,4572	-0,1438	0,0533	0,1029
	p=0,505	p=0,889	p= ---	p=0,359	p=0,642	p=0,698	p=0,908	p=0,966	p=0,934

Valores em vermelho são significativos para  $p < 0,10$ .

Tabela 12 - Coeficiente de correlação de Pearson entre os parâmetros selecionados para as amostras de feijão.

(continuação)

	<b>RDS cozido</b>	<b>SDS cozido</b>	<b>RS cozido</b>	<b>RDS reaquecido</b>	<b>SDS reaquecido</b>	<b>RS reaquecido</b>	<b>RDS extrusado</b>	<b>SDS extrusado</b>	<b>RS extrusado</b>
RDS reaquecido	0,9738	-0,3798	-0,8454	1,0000	0,0009	-0,8616	0,6501	-0,5784	-0,6182
	p=0,146	p=0,752	p=0,359	p= ---	p=0,999	p=0,339	p=0,549	p=0,607	p=0,576
SDS reaquecido	0,2284	-0,9254	0,5334	0,0009	1,0000	-0,5084	0,7604	-0,8162	-0,7865
	p=0,853	p=0,247	p=0,642	p=,999	p= ---	p=,660	p=,450	p=,392	p=,424
RS reaquecido	-0,9545	0,7969	0,4572	-0,8616	-0,5084	1,0000	-0,9458	0,9125	0,9317
	p=0,193	p=0,413	p=0,698	p=0,339	p=0,660	p= ---	p=0,210	p=0,268	p=0,237
RDS extrusado	0,8059	-0,9498	-0,1438	0,6501	0,7604	-0,9458	1,0000	<b>-0,9959</b>	<b>-0,9991</b>
	p=0,403	p=0,203	p=0,908	p=0,549	p=0,450	p=0,210	p= ---	<b>p=0,058</b>	<b>p=0,026</b>
SDS extrusado	-0,7488	0,9743	0,0533	-0,5784	-0,8162	0,9125	<b>-0,9959</b>	1,0000	<b>0,9988</b>
	p=0,461	p=0,145	p=0,966	p=0,607	p=0,392	p=0,268	<b>p=0,058</b>	p= ---	<b>p=0,032</b>
RS extrusado	-0,7808	0,9619	0,1029	-0,6182	-0,7865	0,9317	<b>-0,9991</b>	<b>0,9988</b>	1,0000
	p=0,430	p=0,176	p=0,934	p=0,576	p=0,424	p=0,237	<b>p=0,026</b>	<b>p=0,032</b>	p= ---
To	-0,5461	<b>0,9991</b>	-0,2136	-0,3412	-0,9403	<b>0,7711</b>	-0,9360	0,9641	0,9498
	p=0,632	<b>p=0,026</b>	p=0,863	p=0,778	p=0,221	<b>p=0,439</b>	p=0,229	p=0,171	p=0,203
Tp	<b>-0,9999</b>	0,5687	0,7118	-0,9769	-0,2144	<b>0,9501</b>	-0,7974	0,7393	0,7718
	<b>p=0,009</b>	p=0,615	p=0,496	p=0,137	p=0,862	<b>p=0,202</b>	p=0,412	p=0,470	p=0,439
Tc	-0,9818	0,4152	0,8242	<b>-0,9993</b>	-0,0394	<b>0,8805</b>	-0,6789	0,6095	0,6481
	p=0,122	p=0,727	p=0,383	<b>p=0,025</b>	p=0,975	<b>p=0,314</b>	p=0,525	p=0,583	p=0,551
$\Delta H$	0,9053	-0,1795	-0,9379	0,9782	-0,2068	-0,7374	0,4782	-0,3965	-0,4416
	p=0,279	p=0,885	p=0,226	p=0,133	p=0,867	p=0,472	p=0,683	p=0,740	p=0,709

Valores em vermelho são significativos para  $p < 0,10$ .

Tabela 12 - Coeficiente de correlação de Pearson entre os parâmetros selecionados para as amostras de feijão.

(conclusão)

	<b>RDS cozido</b>	<b>SDS cozido</b>	<b>RS cozido</b>	<b>RDS reaquecido</b>	<b>SDS reaquecido</b>	<b>RS reaquecido</b>	<b>RDS extrusado</b>	<b>SDS extrusado</b>	<b>RS extrusado</b>
Absorção de óleo	0,5452	0,3663	-0,9798	0,7216	-0,6917	-0,2703	-0,0569	0,1473	0,0980
	p=0,633	p=0,761	p=0,128	p=0,487	p=0,514	p=0,826	p=0,964	p=0,906	p=0,937
Solubilidade	-0,4103	0,9808	-0,3617	-0,1921	-0,9815	0,6637	-0,8706	0,9117	0,8901
	p=0,731	p=0,125	p=0,764	p=0,877	p=0,123	p=0,538	p=0,327	p=0,270	p=0,301
Absorção de água	<b>0,9999</b>	-0,5721	-0,7088	0,9760	0,2186	-0,9514	0,8000	-0,7422	-0,7745
	<b>p=0,006</b>	p=0,612	p=0,498	p=0,140	p=0,860	p=0,199	p=0,410	p=0,468	p=0,436

Valores em vermelho são significativos para  $p < 0,10$ .

Observamos, de maneira geral, diferenças estatísticas significativas para as amostras, e para cada cocção a que foram submetidas, a digestibilidade *in vitro* foi realizada simulando os processos gastrointestinais com enzimas digestivas e tempos controlados para todos os casos.

Dos resultados obtidos no arroz observamos que, o arroz parboilizado apresentou menor porcentagem de amido disponível, aproximadamente 80%. O polido e o integral parboilizado apresentaram 85 % de amido disponível entre amido de rápida (RDS) e lenta digestibilidade (SDS) na digestão *in vitro* após o cozimento em água. Quando foram congelados e reaquecidos os porcentagens de amido digerível aumentaram, para parboilizado 98,5 %, polido e o integral parboilizado apresentaram o 100 % de amido digerível, sendo o parboilizado o único que apresentou amido resistente de 2,5 % aproximadamente, podendo-se dizer que o tipo de beneficiamento, onde passou por uma vaporização para a remoção da casca e depois por uma secagem, o amido ficou pré-gelatinizado e isto pode influir na digestão final deste produto. Este comportamento é observado quando as amostras foram submetidas a outro tipo de cozimento mais drástico como o extrusado, obtendo uma matéria com amido totalmente gelatinizado e as porcentagens de amido disponível para a digestão foram de 100 %, sem presença de amido resistente (RS), o parboilizado foi o único que apresentou deste 100% aproximadamente o 7 % de amido de lenta digestão.

Nos grãos cozidos, observa-se (Tabela 11) que a composição proximal tem uma correlação positiva com os resultados de SDS, e que pode ser observado também na Tabela 9, onde os valores de SDS foram maiores do que SDS dos grãos congelados e reaquecidos; esta correlação varia para o RDS, onde a composição proximal tem uma correlação positiva com os valores de RDS do que no caso dos grãos cozidos e feita a digestibilidade no momento. Como foi descrito por Toutounji et al. (2019), a interação de fatores intrínsecos (comprimento do grânulo de amido, teor de proteínas e lipídeos) e extrínsecos (armazenamento, beneficiamento do grão e métodos de cocção) podem influir na digestibilidade do arroz.

No arroz integral parboilizado extrusado, não foi observado amido de SDS nem RS, apesar de ser uma fonte rica de fibra como foi registrado na composição proximal. Isto devido que ao ser a extrusão um cozimento intenso a fibra foi disponibilizada e digerida rapidamente como amido disponível, ideia que é reforçada se observamos a correlação positiva da solubilidade e poder de inchamento dos extrusados com o RDS, 0,20 e 0,92, respetivamente.

Outro comportamento parecido nos cereais foi descrito por Vasanthan et al. (2002) que os compostos não digeríveis de cevada, descritos como fibras alimentares, que consistem em polissacarídeos (celulose, hemicelulose, mucilagem, oligossacarídeos, pectinas), lignina e

substâncias associadas, ao ser submetidos ao cozimento por extrusão, disponibilizou a fibra solúvel das farinhas de cevada.

Situação similar foi observada por Zhang; Bai e Zhang. (2011) em farelo de aveia. Os autores compararam a fibra alimentar solúvel (SDF) que foi extraída do farelo de aveia não tratado e o SDF do farelo de aveia extrusada e encontraram que o SDF de aveia extrusada possui maior solubilidade, capacidade de intumescimento e capacidade de retenção de solventes, um aumento na viscosidade, melhorando as propriedades funcionais do SDF do farelo de aveia.

O teor de amilose apresentou uma correlação positiva e alta com os resultados de RS de 0,84 para os grãos cozidos e de 0,87 para os grãos congelados e reaquecidos, fato que foi observado também por Hu et al. (2004) o conteúdo de RS foi aumentado com o aumento da amilose no mesmo tipo de arroz.

Existe uma correlação positiva e alta para os valores de RDS dos grãos cozidos com relação ao amido total das amostras *in natura* de 0,95 e uma correlação positiva no RDS dos extrusados de 0,49 com relação ao amido total dos extrusados, quanto maior foi o teor de amido, maior foi a porcentagem de RDS.

Foi observado que quanto maior a capacidade de absorção de óleo, foram maiores as porcentagens RS para os grãos cozidos e para os congelados-reaquecidos, a correlação foi alta e positiva ao contrario com o RSD que apresenta uma correlação negativa.

A correlação foi positiva entre a capacidade de absorção de água e o RDS após congelado-reaquecido e para os extrusados.

Por outro lado, os resultados da digestão dos feijões mostraram comportamento diferente e que guardam relação com os detalhados por Demiate et al. (2016), no estudo realizado aos amidos de diferentes variedades de feijões, os autores reportaram que o amido de feijão Branco apresentou os valores mais altos de amido resistente (RS) 7%. Neste estudo as amostras de feijão Branco e Carioca também apresentaram valores maiores de RS (44% e 25%) respectivamente. O feijão Fradinho apresentou os valores mais baixos para RS, de 5% aproximadamente. Os valores da digestão no momento de preparo tiveram diferença estatística significativamente, o feijão Fradinho exibiu o valor mais alto de amido digerível 95%, o Branco 56 %, e o Carioca 75 % aproximadamente, onde 34% desta porcentagem é amido de lenta digestão (SDS), sendo a amostra com maior SDS.

A digestibilidade do amido pode ser afetada pela quantidade de amido, pela presença de complexos amido-lipídeo e amido-proteína (THARANATHAN, 2002) são fatores como os métodos de cocção, preparo do alimento, combinações, que vão a determinar a maior quebra



das ligações durante o processo da digestão, como foi observado após congelamento e reaquecimento dos feijões, os valores mudaram.

Os valores de RS aumentaram nas variedades de feijão Carioca 36 % e Fradinho 9 %. Resultados parecidos foram descritos por Arcila e Rose (2014) que analisaram o cozimento e o congelamento repetidos da farinha de trigo integral e observaram um aumento do RS, com impactos benéficos na saúde.

No feijão Branco o RS diminuiu a 21 % aproximadamente, mesma amostra onde os valores de amido digerível aumentaram a 79 %, estes valores guardam uma correlação positiva e alta com as propriedades térmicas das amostras, observadas nos parâmetros de calorimetria exploratória,  $T_o$ ,  $T_p$ ,  $T_c$ , com valores de 0,77, 0,95 e 0,88 respectivamente.

Observamos também que o teor de amilose guarda correlação com positiva para o RS dos feijões cozidos, congelados-reaquecidos e extrusados com valores de 0,84, 0,87 e 0,63 respectivamente, estes dados são coerentes com os registrado por Ma et al. (2017) para o amido de feijão-amarelo, com alto teor de amilose, mostrou alta temperatura de gelatinização,  $\Delta H$  e viscosidade final, sendo altamente resistente à digestão enzimática e o amido de grão de bico, com baixo teor de amilose, mostrou baixa temperatura de gelatinização,  $\Delta H$ , viscosidade de quebra e pico de viscosidade.

A digestibilidade realizada nas amostras após extrusão mostrou porcentagens altas de digestibilidade. Como foi observado por Alonso; Aguirre e Marzo (2000), a extrusão foi mais eficaz na melhoria da digestibilidade de proteínas e amidos, quando comparado ao descasque, imersão e germinação, pela redução do fator antinutricional (taninos, e inibidores de  $\alpha$ -amilase). El-Hady e Habiba (2003) observaram que a extrusão de leguminosas a priori embebidas em água por 16 h melhora sua digestibilidade.

A capacidade de absorção de óleo e a solubilidade dos extrusados, não apresentaram correlação com os valores de RDS.

A diferença dos resultados observados no cozimento em água, o feijão Branco e fradinho apresentaram 100 % de amido digerível. Apenas a variedade Carioca apresentou um 4 % de RS, pode ser por conta do teor de amilose, que ainda conseguiu manter uma porcentagem de RS.

Considerando que o feijão tem destaque no aporte de proteínas, mas existem compostos fenólicos como os taninos que apresentam a propriedade de formar ligações cruzadas com proteínas, provocando sua precipitação e reduzindo sua digestibilidade (FERNANDES; NISHIDA; PROENÇA, 2010) e as vantagens da extrusão (MARQUES et al., 2018), destacasse que pode melhorar o valor nutritivo apesar do aporte pobre em RS.

## 6 CONCLUSÕES

O cozimento em água ou por extrusão pode melhorar a qualidade nutricional de arroz e feijão, dependendo de como e por quem são consumidos.

As amostras submetidas a cozimento em água mantiveram quantidades menores de amido disponível à digestão *in vitro* em comparação com as amostras que foram congeladas e reaquecidas, não sendo uma maneira recomendada de consumo para pessoas com problemas glicêmicos.

Alimentos submetidos a um processamento intenso como a extrusão podem oferecer alimentos com texturas controladas e que disponibiliza carboidratos de alta digestibilidade, ótimos para pessoas que precisem de fonte energética imediata.

O tipo de beneficiamento e processos drásticos como a extrusão influencia na estrutura do amido como foi observado nas propriedades viscoamilográficas, térmicas e microscópicas.

Um entendimento responsável do mecanismo da degradação dos componentes de um alimento também é importante no desenvolvimento de novos produtos, pode ter efeitos profundos na qualidade sensorial do produto, textura e valor nutricional.

## REFERÊNCIAS

ALONSO, R.; AGUIRRE, A.; MARZO, F. Effects of extrusion and traditional processing methods on antinutrients and *in vitro* digestibility of protein and starch in faba and kidney beans. **Food Chemistry**, v. 68, n. 2, p. 159-165, 2000.

ANACLETO, R.; CUEVAS, R.; JIMENEZ, R.; LLORENTE, C.; NISSILA, E.; HENRY, R.; SREENIVASULU, N. Review. Prospects of breeding high-quality rice using post-genomic tools. **Theoretical and Applied Genetic**, 2015. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/277083851\\_Prospects\\_of\\_breeding\\_high-quality\\_rice\\_using\\_post-genomic\\_tools](https://www.researchgate.net/publication/277083851_Prospects_of_breeding_high-quality_rice_using_post-genomic_tools)>. Acesso em: 05 nov. 2019.

ANDERSON, R. A.; CONWAY, H. F.; PFEIFER, V. F.; GRIFFIN JR. E. L. Gelatinization of corn grits by roll-and extrusion-cooking. **Cereal Science Today**, St. Paul, v. 14, n. 1, p. 4-12, Jan. 1969.

AOAC - ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. In: **Official Methods of Analysis**. 16. ed. Arlington: AOAC, 1995.

AOAC - ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. In: **Official Methods of Analysis**. 17. ed. Gaithersburg: AOAC, 2000.

ARCILA, J. A.; ROSE, D. J. Repeated cooking and freezing of whole wheat flour increases resistant starch with beneficial impacts on *in vitro* fecal fermentation properties. **Journal of Functional Foods**, v. 12, p. 230-236, 2015.

BANTLE, J.; WYLIE-ROSETT, J.; ALBRIGHT, A. L.; APOVIAN, C. M.; CLARK, N. G.; FRANZ, M. J.; HOOGWERF, B. J.; LICHTENSTEIN, A. H.; MAYER-DAVIS, E.; MOORADIAN, A. D.; WHEELER, M. L. Nutrition Recommendations and Interventions for Diabetes. A position statement of the American Diabetes Association. **Diabetes Care**, Washington, v. 31, n. 1, 2008.

BAO, J.; KONG, X.; XIE, J.; XU, L. Analysis of genotypic and environmental effects on rice starch. 1. Apparent amylose content, pasting viscosity, and gel texture. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, v. 52, p. 6010-6016, 2004.

BARBOSA, L. Feijão com arroz e arroz com feijão o Brasil no prato dos brasileiros. **Horizontes Antropológicos**, Porto Alegre, v. 13, n. 28, p. 87-116, jul./dez. 2007. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0104-71832007000200005](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-71832007000200005)>. Acesso em: 10 oct. 2019.

BASSO LOS, F. **Estudo do amido, proteína e compostos fenólicos do feijão Carioca**. 2019. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2019.

BEDIN, A. C. **Caracterização de misturas de amidos de feijão e tuberosas (mandioca e batata-doce) e sua aplicação na obtenção de biofilmes**. 2014. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2014.

BENINCA, C. **Use of thermoanalytical techniques in the analysis of native and chemically modified starches of different botanical sources**. 2008. 76 f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia de Alimentos) - UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA, Ponta Grossa, 2008.

BENINGER, C. W.; GU, L.; PRIOR, R. L.; JUNK, D. C.; VANDENBERG, A.; BETT, K. E. Changes in polyphenols of the seed coat during the after-darkening process in pinto beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, p. 7777–7782, 2005.

BERGMAN, C. Rice end-use quality analysis. In: JULIANO, B.O. **Rice: Chemistry and Technology**. 4. ed. ELSEVIER, 2019. cap. 9. p. 273-337. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811508-4.00009-5>>. Acesso em: 16 nov. 2019.

BIRT, D. F.; BOYLSTON, T.; HENDRICH, S.; JANE, J.; HOLLIS, J.; LI, L.; MCCLELLAND, J.; MOORE, S.; PHILLIPS, G. J.; ROWLING, M.; SCHALINSKE, K.; SCOTT, M. P.; WHITLEY, E. M. Resistant starch: Promise for improving human health. **American Society for Nutrition**, v. 4, p. 587–601, 2013.

BOTELHO, F. **Consumo de feijão e efeitos do processamento na cocção sobre compostos fenólicos, capacidade antioxidante e atributos sensoriais**. 2014. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Departamento de Ciência e Tecnologia Agroindustrial, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2014.

CAMIRE, M. E.; CAMIRE, A.; KRUMHAR, K. Chemical and nutritional changes in foods during extrusion. **Food Science and Nutrition**, v. 29, n. 1, 1990. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/10408399009527513>>. Acesso em: 27 jul. 2019.

CARBONARO, M.; MARLETTA, L.; CARNOVALE, E. Factors affecting cystine reactivity in proleolytic digests of *Phaseolus vulgaris*. **Journal of Agricultural Food Chemistry**, v. 40, n. 2, p. 169-173, 1992.

CARDOSO, M.; PUTAUX, J.; SAMIOS, D.; DA SILVEIRA, N. Influence of alkali concentration on the deproteinization and/or gelatinization of rice starch. **Carbohydrate Polymers**, v. 7, p. 160–165, 2007.

CARVALHO, A; RIOS, A; BASSINELLO, P; FERREIRA, T. Effect of the thermoplastic extrusion parameters on the technological properties of pre-cooked flours prepared with rice and bean. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 15, n. 4, p. 333-342, out./dez, 2012.

CARVALHO, A. V.; VASCONCELOS, M. A. M.; SILVA, P. A.; ASSIS, G. T.; ASCHERI, J. L. R. Caracterização tecnológica de extrusados de terceira geração à base de farinhas de mandioca e pupunha. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 4, p. 995-1003, jul./ago. 2010.

CHAU, C. F.; HUANG, Y. L. Comparison of the chemical composition and physicochemical properties of different fibers prepared from the peel of *Citrus sinensis* L. cv. Liucheng. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, v. 51, p. 2615-2618, 2003.

COÊLHO, J. Produção de Grãos: Feijão, Milho E Soja. **Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste – ETENE**, n. 19, 2017.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. A cultura do arroz / organizador Aroldo Antônio de Oliveira Neto. – Brasília: **CONAB**, p. 180, 2015.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira: Análise mensal - junho 2018. Brasília: **CONAB**, 2018.

COPELAND, L.; BLAZEK, J.; SALMAN, H.; TANG, M. C. Form and functionality of starch. **Food Hydrocolloids**, v. 23, n. 6, p. 1527–1534, 2009.

CORGNEAU, M.; GAIANI, C.; PETIT, J.; NIKOLOVA, Y.; BANON, S.; RITIEPERTUSA, L.; LAM, D.; SCHER, J. Digestibility of common native starches with reference to starch granule size, shape and surface features towards guidelines for starch-containing food products. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 54, p. 2132–2140, 2019.

DELFINI, R.; CANNIATTI-BRAZACA, S. Polifenóis e sua interação com a digestibilidade e tempo de cocção em feijão comum. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 19, n. 4, p. 401-407, out./dez. 2008.

DE LIMA, P. F.; COLOMBO, C. A.; CHIORATO, A. F.; YAMAGUCHI L. F.; KATO, M. J.; CARBONELL, S. A. Occurrence of isoflavonoids in Brazilian common bean germplasm (*Phaseolus vulgaris* L.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 62, p. 9699–9704, 2014.

DEMIATE, I. M.; FIGUEROA, A. M.; GUIDOLIN, M. E. B. Z.; DOS SANTOS, T. P. R.; YANGCHENG, H.; CHANG, F.; JANE, J. L. Physicochemical characterization of starches from dry beans cultivated in Brazil. **Food Hydrocolloids**, v. 61, p. 812-820, 2016.

DEMIATE, I. M.; WOSIACKI, G.; CEREDA, M. P.; MESTRES, C. Características viscoamilográficas de amidos de mandioca quimicamente modificados. **Publicatio UEPG: Ciências Exatas e da Terra**, Ciências Agrárias e Engenharias, v. 11, n. 1, p. 7–17, 2005.

DENCH, J. E.; RIVAS, R. N.; CAYGILL, J. C. Selected functional properties of sesame (*Sesamum indicum* L.) flour and two protein isolates. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 32, n. 6, p. 557-564, 1981.

DONADEL, M. E.; FERREIRA, P. S. H. Propriedades funcionais de concentrado protéico de feijão envelhecido. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 19, n. 3, p. 380-386, 1999. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20611999000300015>>. Acesso em: 10 out. 2019.

EL-HADY, E. A.; HABIBA, R. A. Effect of soaking and extrusion conditions on antinutrients and protein digestibility of legume seeds. **LWT - Food Science and Technology**, v. 36, n. 3, p. 285-293, 2003.

ENCYCLOPEDIA BRITANNICA. Rice Cereal Grain. Disponível em: <<https://www.britannica.com/plant/rice>>. Acesso em: 23 nov. 2019.

ENGLYST, H. N; CUMMINGS, J. H. Digestion of the polysaccharides of potato in the small intestine of man. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 45, p. 423–431, 1987.

ENGLYST, H. N.; HUDSON, G. J. The classification and measurement of dietary carbohydrates. **Food Chemistry**, v.57, n.1, p.15-21, 1996.

ENGLYST, H. N; KINGMAN, S. M; CUMMINGS, J. H. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. **European Journal of Clinical Nutrition**, v. 46, p. 33–50, 1992.

ESPINOSA, L. G.; LYGIN, A.; WIDHOLM, J. M.; VALVERDE, M. E.; LOPEZ, O. Polyphenols in wild and weedy Mexican common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 54, p. 4436–4444, 2006.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do Processamento de Alimentos: princípios e prática**. 2 ed. Porto Alegre: Artmed, p. 602, 2006.

FENNEMA, O.; DAMODARAN, S.; PARKIN, K. **Química de Alimentos de Fennema**. 5. ed. São Paulo: ARTMED, p. 1120, 2019.

FERNANDES, A.; NISHIDA, W.; PROENÇA, R. Influence of soaking on the nutritional quality of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) cooked with or without the soaking water: A review. **International Journal of Food Science and Technology**, p. 45, 2209–2218, 2010.

FERREIRA, C.; FIGUEIREDO, R.; LUZ, T. Arroz e Feijão Intervenção Multi-intitucional em Prol do Brasil. **Revista Política Agrícola**, Embrapa, v. 37, n. 1, p. 96-112, 2018. Disponível em: <<https://seer.sede.embrapa.br/index.php/RPA/article/view/1403>>. Acesso em: 1 nov. 2019.

FERREIRA, C.; PINHEIRO, B.; DE SOUSA, I.; DE MORAES, O. Qualidade do Arroz no Brasil: Evolução e Padronização. **Embrapa Arroz e Feijão**, Santo Antônio de Goiás, p. 61, 2005.

FERREIRA, R.; SOUZA, A.; SANTOS, J.; COLLARES-QUEIROZ; F.; STEEL, C. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 23, n. 2, p. 171-178, 2012.

FIGUEROA, A. **Caracterização de amidos obtidos de diferentes feijões e sua aplicação em filmes biodegradáveis**. 2016. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2016.

FONSECA, J.; CASTRO, E.; MORAIS, O.; SOARES, A.; PEREIRA, J.; LOBO, V.; RESENDE, J. Descrição Morfológica, Agronômica, Fenológica e Culinária de Alguns Tipos Especiais de Arroz (*Oryza sativa* L.). **Embrapa Arroz e Feijão**, Santo Antônio de Goiás, p. 28, 2007.

FREI, M.; SIDDHURAJU, P.; BECKER, K. Studies on the *in vitro* starch digestibility and the glycemic index of six different indigenous rice cultivars from the Philippines. **Food Chemistry**, v. 83, n. 1, p. 395-402, 2003.

GANESAN, K.; XU, B. Polyphenol-Rich Dry Common Beans (*Phaseolus vulgaris* L.) and Their Health Benefits. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 18, p. 2331, 2017. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5713300/>>. Acesso em: 24 nov. 2019.

GOMES, J. C.; DA SILVA, C. Elaboração e análises físico-químicas de farinhas de feijão. **Revista Ceres**, v. 50, n. 292, 2003.

GOÑI, I.; GARCÍA-DIZ, L.; MAÑAS, E., SAURA, F. Analysis of resistant starch: a method for foods and food products. **Food Chemistry**, v.56, p.445-449, 1996.

GRANER, E. A.; GODOY, C. **Culturas da Fazenda Brasileira**. 2. ed. São Paulo: Melhoramentos, 1962.

HARPER, J. M. Extrusion of Foods. **CRC-Press**, v. 1, 1981.

HARPER, J. M. Food Extrusion. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, p. 155-215, 1979.

HA, T. J.; LEE, M. H.; PARK, C. H.; PAE, S. B.; SHIM, K. B.; KO, J. M.; SHIN, S. O.; BAEK, I. Y.; PARK, K. Y. Identification and characterization of anthocyanins in yard-long beans (*Vigna unguiculata* ssp. *sesquipedalis* L.) by High-Performance Liquid Chromatography with diode array detection and electrospray Ionization/mass spectrometry (HPLC-DAD-ESI/MS) Analysis. **Journal and Agricultural of Food Chemistry**, v. 58, p. 2571-2576, 2010.

HOOVER, R.; HUGHES, T.; CHUNG, H. J.; LIU, Q. Composition, molecular structure, properties, and modification of pulse starches: A review. **Food Research International**, v. 43, n. 2, p. 399–413, 2010.

HOOVER, R.; RATNAYAKE, W. Starch characteristics of black bean, chick pea, lentil, navy bean and pinto bean cultivars grown in Canada. **Food Chemistry**, v. 78, p. 489-498, 2002.

HORVATA, M.; EMINA, M.; HOCHSTEIN, B.; WILLENBACHER, N.; SCHUCHMANN, H. Influence of médium-chain triglycerides on expansion and rheological properties of extruded corn starch. **Carbohydrate Polymers**, v. 93, p. 492-498, 2013.

HU, P.; ZHAO, H.; DUAN, Z.; LINLIN, Z.; WU, D. Starch digestibility and the estimated glycemic score of different types of rice differing in amylose content. **Journal of Cereal Science**, v. 40, p. 231–237, 2004.

IAL. Métodos químicos e físicos para análise de alimentos. In: **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz**. 3. ed. São Paulo: IMESP, p. 42–43, 2008.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/25003-em-junho-ibge-preve-alta-de-4-2-na-safra-de-graos-de-2019>>. Acesso em 02 jul. 2019.

ITO, V. C.; SCHNITZLER, E.; DEMIATE, I. M.; EUSÉBIO, M. E. S.; LACERDA, L. G.; CASTRO, R. A. E. Physicochemical, thermal, crystallographic, and morphological properties of biodynamic black rice starch, and of residual fractions from aqueous extraction. **Starch - Stärke**, v. 70, n. 11-12, p. 1700348, 2018.

JULIANO, B. O.; BECHTEL, D. B. The rice grain and its gross composition. In: JULIANO, B.O. **Rice: Chemistry and Technology**. 2. Ed. Minnesota: American Association of Cereal Chemists, 1985. cap. 2. p. 17-57.

KATO, L. **Caracterização química de feijão para produção de material de referência certificado**. 2014, Dissertação (Mestrado em Ciências Área de Concentração: Química na Agricultura e no Ambiente) Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014. Disponível em: <[https://teses.usp.br/teses/disponiveis/64/64135/tde-26012015-151312/publico/LilianSeikoKato\\_revisada.pdf](https://teses.usp.br/teses/disponiveis/64/64135/tde-26012015-151312/publico/LilianSeikoKato_revisada.pdf)>. Acesso em: 20 out. 2019.

KLINDER, A.; SHEN, Q.; HEPPEL, S.; LOVEGROVE, J. A.; ROWLAND, I.; TUOHY, K. M. Impact of Increasing Fruit and Vegetables and Flavonoid Intake on the Human Gut Microbiota. **Food and Function**, v. 7, p. 1788–1796, 2016.

KOBLITZ, M. **Matérias-primas alimentícias: Composição e Controle de Qualidade**. 1. ed. São Paulo: Guanabara Koogan, 2011.

LAI, C. S.; GUETZLAFF, J.; HOSENEY, R. C. Role of sodium bicarbonate and trapped air in extrusion. **Cereal Chemistry**, v. 66, n. 2, p. 69-73, 1989.

LUSTOSA, B. H. B.; LEONEL, M.; MISCHAN, M. M. Influência dos parâmetros de extrusão na absorção e solubilidade em água de farinhas pré-cozidas de mandioca e caseína. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 20, n. 2, p.223 - 229, 2009.

MA, M.; WANG, Y.; WANG, M.; JANE, J.; DU, S. Physicochemical properties and *in vitro* digestibility of legume starches. **Food Hydrocolloids**, v. 63, p. 249-255, 2017.



MA, Z.; BOYE, J. I. Research advances on structural characterization of resistant starch and its structure-physiological function relationship: A review. **Critical Reviews. Food Science and Nutrition**, v. 58, 1059-1083, 2018.

MAPA-INSTRUÇÕES NORMATIVAS OU PORTARIAS DO MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/sementes-e-mudas/legislacao>>. Acesso em: 30 nov. 2019.

MARQUES, G.; MAGALHÃES, C.; ASCHERI, J.; SILVA, E. O efeito do processamento por extrusão termoplástica na qualidade nutricional dos alimentos: Uma revisão. **Journal of Applied Pharmaceutical Sciences**, v. 5, p. 45-56, 2018.

MARQUEZI, M.; GERVIN, V. M.; WATANABE, L. B.; BASSINELLO, P. Z.; AMANTE, E. R. Physical and chemical properties of starch and flour from different common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 19, n. 0, 2016.

MERCIER, C.; FEILLET, P. Modification of Carbohydrate Components by Extrusion-Cooking of Cereal Products. **Cereal Chemistry**, v. 52, n. 3, 1975. Disponível em: <<https://www.cerealsgrains.org/publications/cc/backissues/1975/Documents/CC1975a36.html>>. Acesso em: 18 jun. 2019.

MINGOTTE, F. L.; HANASHIRO, R. K.; FILHO, D. F. Características físico-químicas do grão de cultivares de arroz em função da adubação nitrogenada. **Semina Ciências Agrárias**, v. 33, 2012.

MOJICA, L.; MEYER, A.; BERHOW, M. A.; DE MEJIA, E. Bean cultivars (*Phaseolus vulgaris*L.) have similar high antioxidant capacity, *in vitro* inhibition of  $\alpha$ -amylase and  $\alpha$  glucosidase while diverse phenolic composition and concentration. **Food Research International**, v. 69, p. 38-48, 2015.

MOTOHASHI, H.; YAMAMOTO, M. Nrf2–Keap1 Defines a Physiologically Important Stress Response Mechanism. **Trends in Molecular Medicine**, v. 10, p. 549–557, 2004. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15519281>>. Acesso em: 25 nov. 2019.

NIKMARAML, N.; KAMANI, M. H.; GHALAVAND, R. The effects of extrusion cooking on antinutritional factors, chemical properties and contaminating microorganisms of food. **International Journal of Farming and Allied Sciences**, 2015. Disponível em: <<http://ijfas.com/wp-content/uploads/2015/05/352-354.pdf>>. Acesso em: 5 out. 2019.

NOGUEIRA, W. **Utilização do soro de queijo na potencialização da produção de etanol a partir de três cultivares de arroz**. 2018. Dissertação (Mestrado em Agroenergia). Universidade Federal do Tocantins, Tocantins, 2018.

NUNES, G.; BARBOSA, R.; PATITA, M.; FERNANDES, V.; GONÇALVES, D.; FONSECA, J. Adult Celiac Disease: The Importance of Extraintestinal Manifestations. **Portuguese Journal of Gastroenterology**, v. 24, p. 292–295, 2017.

OLIVEIRA, D.; KOLAKOWSKI, A.; SIMÕES, D.; LOS, P.; DEMIATE, I. Biscoitos tipo cookie sem glúten formulados com farelo de feijão, farinha de arroz e amido de mandioca. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, Ponta Grossa, v. 11, n. 2, p. 2502-2522, 2017.

OOMAH, B. D.; CORBÉ, A.; BALASUBRAMANIAN, P. Antioxidant Anti-inflammatory Activities of Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Hulls. **Journal of agricultural and Food Chemistry**, v. 58, p. 8225-8230, 2010.

PAGNAN, M.; BASSINELLO, P.; PRUDENCIO, S. H. Características sensoriais, físicas e químicas e aceitação de arroz irrigado ou de terras altas. **Embrapa Arroz e Feijão**, Santo Antônio de Goiás, v. 50, n. 10, p. 970-988, 2015. Disponível em <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2015001000014>>. Acesso em: 13 jul. 2019.

PAUR, I.; AUSTENAA, L. M.; BLOMHOFF, R. Extracts of dietary plants are efficient modulators of Nuclear Factor Kappa B. **Food and Chemical Toxicology**, v. 46, p. 1288–1297, 2008.

PEREIRA, J. A.; BASSINELLO, P. Z.; FONSECA, J. R.; RIBEIRO, V. Q. Potencial genético de rendimento e propriedades culinárias do arroz- vermelho cultivado. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 20, n. 1, p. 43-48, 2007.

PEREIRA, K. Resistant starch, the latest generation of energy control and healthy digestion. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27(supl.), p. 88-92, 2007.

PIROSKI, C. **Avaliação da digestibilidade e características físico químicas das farinhas de milho e mandioca**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2019.

RATNAYAKE, W. S.; JACKSON, D. S. A new insight into the gelatinization process of native starches. **Carbohydrate Polymers**, v. 67, n. 4, p. 511–529, 2007.

ROCHA, M.; DAMASCENO E SILVA, K.; MENEZES JÚNIOR, J.A.; HASHIMOTO, J.; NEVES, A.; SOUSA, F.; RIBEIRO, E.; FERNANDES, L. Feijão- Caupi. Melhoramento genético para o avanço da cultura. **Embrapa Meio-Norte**, Teresina, 2016. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1047752/feijao-caupi-melhoramento-genetico-para-o-avanco-da-cultura>>. Acesso em: 10 mar. 2019.

SILVA, M.; SANTOS, L.; CHOUPINA, A. Revisão: A extrusão em tecnologia alimentar: tipos, vantagens e equipamentos. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 38, n. 1, mar. 2015. Disponível em: <[http://www.scielo.mec.pt/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0871-018X2015000100002](http://www.scielo.mec.pt/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0871-018X2015000100002)>. Acesso em: 6 jun. 2019.

SILVA, O. F.; WANDER, A. E. O arroz no Brasil: evidências do censo agropecuário 2006 e anos posteriores. **Embrapa Arroz e Feijão**, Santo Antônio de Goiás, p. 58, 2014.

SILVA, R.; ASCHERI, J. Extrusão de quirera de arroz para uso como ingrediente alimentar. **Brazilian Journal Food Technology**, v. 12, n. 3, p.190-199, 2009.

SILVA, V. Arroz e feijão combinação de saúde e nutrição. IN: FÓRUM DO FEIJÃO, PULSES E COLHEITAS ESPECIAIS, 5. 2017, Campinas, São Paulo. **Anais...** Campinas: ITAL, 2017. Disponível em: <[http://www.agricultura.gov.br/assuntos/camaras-setoriais-tematicas/documentos/camaras/setoriais/feijao/2017/36aro/app\\_arroz\\_feijao\\_36ro\\_feijao.pdf](http://www.agricultura.gov.br/assuntos/camaras-setoriais-tematicas/documentos/camaras/setoriais/feijao/2017/36aro/app_arroz_feijao_36ro_feijao.pdf)>. Acesso em: 23 nov. 2019.

SINGH, N.; SINGH, J.; KAUR, L.; SODHI, N.S.; GILL, B. S. Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. Review. **Food Chemistry**, v. 81, p. 219–231, 2003.

SOUSA e SILVA, J. **Secagem e armazenamento de produtos agrícolas**. 2. ed. Viçosa: Aprenda Fácil, 2008.

STORCK, C. R.; SILVA, L. P.; COMARELLA, C. G. Influência do processamento na composição nutricional de grãos de arroz. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 16, n. 3, p. 259-264, jul./set. 2005.

TACO - TABELA BRASILEIRA DE COMPOSIÇÃO DE ALIMENTOS, 2011. Disponível em:<[http://www.cfn.org.br/wpcontent/uploads/2017/03/taco\\_4\\_edicao\\_ampliada\\_e\\_revisada.pdf](http://www.cfn.org.br/wpcontent/uploads/2017/03/taco_4_edicao_ampliada_e_revisada.pdf)>. Acesso em: 17 out. 2019.

THARANATHAN, R. N. Food-derived carbohydrates - Structural complexity and functional diversity. **Critical Reviews in Biotechnology**, v. 22, p. 65-84, 2002.

TOUTOUNJI, M. R.; FARAHNAKY, A.; SANTHAKUMARA, A. B.; OLIC, P.; BUTARDO, V. M.; BLANCHARD, C. Intrinsic and extrinsic factors affecting rice starch digestibility. A Review. **Trends in Food Science and Technology**, v. 88, 2019.

TURBIANI, R. Disponível em: <<https://epoca.globo.com/sociedade/diabetes-brasil-3-pais-com-mais-casos-entre-criancas-adolescentes-24139566>>. Acesso em: 29 dez. 2019.

ULLOA, J.; ULLOA, P.; RAMÍREZ, J.; ULLOA, B. El frijol (*Phaseolus vulgaris*): su importancia nutricional y como fuente de fitoquímicos. **Revista Fuente**, v. 3, n. 8, 2011.

VASANTHAN, T.; GAOSONG, J.; YEUNG, J.; LI, J. Dietary fiber profile of barley flour as affected by extrusion cooking. **Food Chemistry**, v. 77, n. 1, p. 35–40, 2002. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(01\)00318-1](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(01)00318-1)>. Acesso em: 02 dez. 2019.

VIEIRA, N. R. A.; PEREIRA, P. A. A. Alguns aspectos da elaboração e do acompanhamento de projetos de pesquisa. **Embrapa Arroz e Feijão**, Santo Antônio de Goiás, p. 28, 2004.

VIEIRA, N. R. A.; RABELO, R. R. Qualidade tecnológica. In: SANTOS, A. B.; STONE, L. F.; VIEIRA, N. R. A. (Ed.). A cultura do arroz no Brasil. **Embrapa Arroz e Feijão**, cap. 23, p. 869-900, 2006.

WALTER, M.; MARCHEZAN, E.; AVILA, L. A. Arroz: composição e características nutricionais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 4, p. 1184-1192, 2008.

WALTER, M.; SILVA, L.; EMANUELLI, T. Amido resistente: características físico-químicas, propriedades fisiológicas e metodologias de quantificação. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 4, 2005. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782005000400041>>. Acesso em: 14 abr. 2019.

WANG, S.; COPELAND, L. Molecular disassembly of starch granules during gelatinization and its effect on starch digestibility: A review. **Food & Function**, v. 4, n. 11, p. 1564, 2013.

WANG, S. H.; FERNANDES, S. M.; CABRAL, L. C.; ARAUJO, F. B. Absorção de gordura, solubilidade e propriedades espumantes dos extratos hidrossolúveis desidratados de arroz e soja. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 20, n. 2, p. 187–191, 2000.

WINHAM, D. M.; HUTCHINS, A. M.; THOMPSON, S. V. Glycemic Response to Black Beans and Chickpeas as Part of a Rice Meal: A Randomized Cross-Over Trial. **Nutrients**, v. 4, n. 9, p. 10, 2017.

WITTEK, P.; EMIN, M. A. Three-Dimensional Modeling of Food Extrusion Processes. **Reference Module in Food Science**, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.21211-0>>. Acesso em: 17 ago. 2019.

YIN, S. W.; TANG, C. H.; WEN, Q. B.; YANG, X. Q.; YUAN, D. B. The relationships between physicochemical properties and conformational features of succinylated and acetylated kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.) protein isolates. **Food Research International**, Essex, v. 43, p. 730-738, 2010.

ZHANG, M.; BAI, X.; ZHANG Z. Extrusion process improves the functionality of soluble dietary fiber in oat bran. **Journal of Cereal Science**, v. 54, n. 1, p. 98-103, 2011.