



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
ALIMENTOS

TALITA MIRANDA VIDON

**CINÉTICA DE SECAGEM E INFLUÊNCIA DA GERMINAÇÃO E COZIMENTO NAS
CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS EM FEIJÕES (*Phaseolus vulgaris* L.)
BIOFORTIFICADO E NÃO BIOFORTIFICADO**

ALEGRE – ES
DEZEMBRO – 2016

TALITA MIRANDA VIDON

**CINÉTICA DE SECAGEM E INFLUÊNCIA DA GERMINAÇÃO E COZIMENTO NAS
CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS EM FEIJÕES (*Phaseolus vulgaris* L.)
BIOFORTIFICADO E NÃO BIOFORTIFICADO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Orientador: Prof. Mateus da Silva Junqueira
Coorientadora: Prof. Neuza Maria Brunoro Costa
Coorientador: Prof. Sérgio Henriques Saraiva

ALEGRE – ES
DEZEMBRO – 2016

TALITA MIRANDA VIDON

**CINÉTICA DE SECAGEM E INFLUÊNCIA DA GERMINAÇÃO E COZIMENTO NAS
CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS EM FEIJÕES (*Phaseolus vulgaris* L.)
BIOFORTIFICADO E NÃO BIOFORTIFICADO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Aprovada em ____ de _____ de 2016

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Mateus da Silva Junqueira
Universidade Federal de São João Del-Rei
Orientador

Prof. Dr. Sérgio Henriques Saraiva
Universidade Federal do Espírito Santo
Coorientador

Prof. Dr. Marco Antônio Sartori
Universidade Federal de Viçosa
Examinador

Dedico,

*À minha família (pai, mãe, irmã, irmão e afilhado) por
todo amor e ensinamentos.*

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida;

Aos meus pais, Manoel e Sylvana, pelo amor incondicional e apoio durante toda minha trajetória;

Aos meus irmãos, Tainã e Eduardo, por toda cumplicidade, amor e amizade;

Aos meus avós, Edson e Consuelita, por serem avós e pais, pelo amor e criação;

Ao meu companheiro, Yuri, por todo amor e companheirismo; e pela fundamental ajuda no laboratório com as análises do projeto;

À minha segunda família, Cergio, Geusa e D. Creuza, pelo apoio e carinho de sempre. E, ao Cergio, por todas as trocas durante nosso caminhar de mestrandos;

Ao meu orientador, Mateus da Silva Junqueira, pela orientação, mesmo que de longe, e por me confiar à realização deste trabalho;

Ao meu coorientador, Sérgio Henriques Saraiva, pelo exemplo profissional, por todos os ensinamentos e fundamentais colaborações no trabalho, sempre disposto a compartilhar sua sabedoria;

À minha coorientadora, Neuza Maria Brunoro Costa, por todos os ensinamentos compartilhados e fundamentais colaborações para a execução do projeto;

A todos os professores do programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos (PCTA) da UFES pela fundamental contribuição em minha formação acadêmica e científica;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos;

À EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) pela doação dos feijões;

À professora Hércia Stampini Duarte Martino e Maria Eliza Castro Moreira do laboratório de Nutrição Experimental do Departamento de Nutrição e Saúde da UFV, pela disponibilidade na realização das análises de ácido fólico;

Aos funcionários e técnicos de laboratório, em especial Eduardo e Amanda, pela disponibilidade em ajudar sempre que solicitado;

Aos colegas do PCTA, especialmente Emília, Letícia, Marina, Marianna, Paula e Priscila, sempre dispostos a ajudar. Dificuldades foram tantas, esmorecimento diversos e incentivos em demasia;

Enfim, a todos aqueles que, direta ou indiretamente, colaboraram para a realização deste trabalho, GRATIDÃO!

“Conheça todas as teorias, domine todas as técnicas, mas ao tocar uma alma humana seja apenas outra alma humana”
(Carl Gustav Jung)

“A verdadeira educação consiste em pôr a descoberto ou fazer atualizar o melhor de uma pessoa. Que livro melhor que o livro da humanidade?”
(Mahatma Gandhi)

SUMÁRIO

RESUMO	viii
ABSTRACT.....	x
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	5
3. OBJETIVOS.....	9
3.1. Geral	9
3.2. Específicos	9
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	10
4.1. FEIJÃO	10
4.1.1. Importância Econômica	10
4.1.2. Importância Nutricional	12
4.2. FATORES ANTINUTRICIONAIS.....	14
4.2.1. Razão Molar Fitato:Mineral	16
4.3. ALIMENTOS BIOFORTIFICADOS.....	17
4.3.1. Programas de Biofortificação no Brasil e no mundo	18
4.4. GERMINAÇÃO.....	19
4.5. SECAGEM.....	22
4.5.1. Curvas de Secagem.....	24
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	28
CAPÍTULO I - Cinética de secagem e caracterização físico-química de farinhas de feijões (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) biofortificado e não biofortificado, cozido e germinado.....	39
RESUMO	40
1. INTRODUÇÃO.....	41
1.1. Objetivos.....	43
2. MATERIAL E MÉTODOS	43
2.1. Planejamento experimental e análise estatística dos dados	43
2.2. Matéria-prima e preparo das amostras	44
2.3. Secagem e obtenção da farinha.....	45
2.4. Estudo da cinética de secagem e influência da temperatura no tempo de secagem	46
2.5. Caracterização Físico-Química	48
2.5.1. Composição Centesimal.....	48
2.5.2. Atividade de Água	48

2.5.3. Minerais.....	49
2.5.4. Taninos.....	49
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
3.1. Avaliação do efeito da temperatura do ar de secagem sobre a cinética de secagem dos feijões cozido e germinado.....	50
3.2. Avaliação do efeito da temperatura e do tempo de secagem sobre o teor de umidade dos feijões cozido e germinado	63
3.3. Efeito da temperatura de secagem na composição físico-química dos feijões cozido e germinado	68
4. CONCLUSÃO	76
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77
CAPÍTULO II - Caracterização físico-química de feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) biofortificado e não biofortificado submetidos aos tratamentos de cozimento e germinação	84
RESUMO	85
1. INTRODUÇÃO.....	86
1.1. Objetivos.....	87
2. MATERIAL E MÉTODOS	87
2.1. Matéria-prima e preparo das amostras.....	88
2.2. Obtenção da farinha	89
2.3. Análises Físico-Químicas.....	90
2.3.1. Composição centesimal.....	90
2.3.2. Atividade de Água	91
2.3.3. Minerais.....	91
2.3.4. Taninos.....	92
2.3.5. Ácido Fítico	92
2.4. Razão Molar	92
2.5. Digestibilidade <i>in vitro</i>	93
2.6. Análise Estatística.....	94
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	94
3.1. Caracterização físico-química dos feijões biofortificado e não biofortificado	94
3.2. Caracterização físico-química das farinhas de feijão cozido e germinado.....	96
3.3. Razão Molar Fitato:Mineral	107
4. CONCLUSÃO	110
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	111
CONSIDERAÇÕES FINAIS	118

RESUMO

VIDON, Talita Miranda. **Cinética de secagem e influência da germinação e cozimento nas características físico-químicas de feijões (*Phaseolus vulgaris* L.) biofortificado e não biofortificado**. 2016. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre - ES. Orientador: Prof. DSc. Mateus da Silva Junqueira. Coorientadores: Prof. DSc. Sérgio Henriques Saraiva e Prof^a. DSc. Neuza Maria Brunoro Costa.

O feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é um dos alimentos mais tradicionais na dieta dos brasileiros e é uma das principais fontes de proteínas, fibras e minerais. Em contrapartida, o feijão possui alguns fatores que podem limitar sua aceitação, como os fatores antinutricionais, que se complexam com nutrientes diminuindo sua biodisponibilidade e limitando a digestibilidade do feijão. Tradicionalmente, o cozimento é a forma de preparo mais utilizada para o consumo de feijões, tornando-os mais digeríveis e aptos para o consumo humano. A germinação é uma alternativa simples e econômica para melhorar as características nutricionais dos alimentos, diminuindo fatores antinutricionais e aumentando o conteúdo de determinados nutrientes necessários para o crescimento e desenvolvimento da planta. Outra estratégia utilizada para melhorar a qualidade nutricional dos alimentos, é a biofortificação por meio do melhoramento genético, e o feijão têm se mostrado viável para este fim, visto que possui grande variabilidade genética e é um alimento base da alimentação do brasileiro. Em contrapartida, estudos recentes tem demonstrado que o consumo de feijão vem diminuindo significativamente no Brasil, ou seja, o feijão *in natura* vem se tornando menos competitivo quando comparado a outros produtos. Por isso, métodos tecnológicos de processamento podem ser utilizados para agregar valor aos alimentos bem como para uma maior conservação dos mesmos. A secagem de alimentos é um dos processamentos mais utilizados para a conservação através da redução da atividade de água. Além disso, a cinética de secagem prevê o comportamento do processo visando economia de tempo e energia envolvidos na secagem e preservando a qualidade do alimento desidratado. Portanto, o presente trabalho tem por objetivo avaliar a influência das temperaturas do ar de secagem (40, 50, 55, 60 e 70 °C) na cinética de desidratação de feijões biofortificado e não biofortificado, submetidos aos processos de cozimento e germinação, bem como analisar o efeito da temperatura de secagem, do cozimento e da germinação sob os parâmetros físico-químicos das farinhas de feijão cozido e germinado. Para descrever as curvas de secagem foram utilizados três modelos matemáticos (Lewis, Page e Handerson & Pabis) mediante regressão não linear e selecionado aquele que melhor se ajustou aos dados experimentais. As farinhas obtidas foram avaliadas quanto à composição centesimal, atividade de água, taninos, ácido fítico, ferro, ferro hidrolisado, zinco e zinco hidrolisado. Dentre os modelos ajustados, o modelo de Page foi aquele que descreveu satisfatoriamente o processo de secagem dos feijões cozido e germinado. A temperatura de secagem teve influência apenas no teor de umidade e atividade de água das farinhas e, em relação às demais variáveis, a temperatura de secagem não teve efeito significativo. Em relação ao efeito da germinação bem como do cozimento dos feijões, foi observado que a germinação foi mais eficiente para a redução do conteúdo de

taninos dos feijões, bem como para a manutenção de fibras solúveis, lipídeos e zinco. Ainda teve um efeito positivo em relação ao conteúdo de ferro e zinco hidrolisado, mostrando que este método de processamento simples e econômico contribui para a melhoria da qualidade nutricional dos alimentos, com a diminuição de fatores antinutricionais e aumento da disponibilidade de nutrientes.

Palavras-chave: cinética de secagem, feijão, fatores antinutricionais, germinação, qualidade nutricional.

ABSTRACT

VIDON, Talita Miranda. **Kinetics of drying and influence germination and cooking on the physicochemical characteristics of beans (*Phaseolus vulgaris* L.) biofortified and not biofortified**. 2016. Dissertation (Master in Science and Food Technology) - Federal University of Espírito Santo, Alegre - ES. Advisor: Prof. DSc. Mateus da Silva Junqueira. Co-Advisors: Prof. DSc. Sérgio Henriques Saraiva e Prof^a. DSc. Neuza Maria Brunoro Costa.

The common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is one of the most traditional foods in the diet of Brazilians and is one of the main sources of protein, fiber and minerals. On the other hand, the beans have some factors that may limit their acceptance, such as antinutritional factors, which are complexed with nutrients, reducing their bioavailability and limiting the digestibility of the beans. Traditionally, cooking is the most used form of preparation for the consumption of beans, making them more digestible and fit for human consumption. Germination is a simple and economical alternative to improve nutritional characteristics of foods, reducing antinutritional factors and increasing the content of certain nutrients necessary for the growth and development of the plant. Another strategy used to improve the nutritional quality of food is biofortification through genetic improvement, and beans have been shown to be feasible for this purpose, since it has great genetic variability and is a food staple of Brazilian food. On the other hand, recent studies have shown that beans consumption has been decreasing significantly in Brazil, that is, the beans *in natura* have become less competitive when compared to other products. Therefore, technological processing methods can be used to add value to foods as well as to preserve them. The drying of food is one of the most used processes for the conservation through the reduction of the water activity. In addition, the drying kinetics predicts the behavior of the process aiming at saving time and energy involved in drying and preserving the quality of the dehydrated food. The objective of this work was to evaluate the influence of drying air temperatures (40, 50, 55, 60 and 70 °C) on the biofortified and non-biofortified dehydration kinetics of beans submitted to the cooking and germination processes, as well as To analyze the effect of drying, cooking and germination temperature under the physicochemical parameters of cooked and germinated bean flours. To describe the drying curves, three mathematical models (Lewis, Page and Handerson & Pabis) were used by means of non-linear regression and the one that best fitted the experimental data was selected. The obtained flours were evaluated for centesimal composition, water activity, tannins, phytic acid, iron, hydrolyzed iron, zinc and hydrolyzed zinc. Among the adjusted models, the Page model was one that satisfactorily described the drying process of the cooked and germinated beans. The drying temperature had influence only on the moisture content and water activity of the flours and, in relation to the other variables, the drying temperature had no significant effect. In relation to the effect of germination as well as the cooking of the beans, it was observed that the germination was more efficient for the reduction of the tannin content of the beans, as well as for the maintenance of soluble fibers, lipids and zinc. It also had a positive effect on the content of iron and zinc hydrolyzate, showing that this simple and economical processing method contributes to the improvement of the nutritional

quality of foods, reducing antinutritional factors and increasing the availability of nutrients.

Keywords: Kinetics of drying, beans, anti-nutritional factors, germination, nutritional quality.

1. INTRODUÇÃO

Os feijões (*Phaseolus vulgaris* L.) estão entre os alimentos mais antigos, remontando aos primeiros registros da humanidade. Eram cultivados no antigo Egito e Grécia, sendo também cultuados como símbolo da vida (VIEIRA; PAULA JÚNIOR, 2006). Atualmente são cultivados em todos os continentes (CARNEIRO *et al.*, 2005), principalmente em países da América Latina e África Central, onde faz parte da alimentação básica de grande parte da população (MONTROYA *et al.*, 2010).

O feijão é um produto tradicional na alimentação da população brasileira. Além disso, é um alimento muito rico sob o aspecto nutricional, fornecendo nutrientes essenciais como proteínas, carboidratos, fibras, vitaminas (principalmente complexo B) e minerais como ferro, cálcio, zinco, cobre e manganês (GUZMÁN-MALDONADO *et al.*, 1996; RAMÍREZ-CÁRDENAS *et al.*, 2008). É considerada a melhor fonte vegetal de ferro e proteínas (BRIGIDE, 2002), sendo, portanto, uma excelente alternativa para o incremento da qualidade nutricional de populações, principalmente em países menos desenvolvidos (MARTINEZ, 2011).

Em contrapartida, o feijão contém alguns fatores indesejáveis ao seu consumo, como os fatores antinutricionais que levam à diminuição de sua digestibilidade. Dentre estes fatores encontram-se, principalmente, polifenóis (taninos) e ácido fítico (MARTINEZ-DOMINGUEZ *et al.*, 2002; SATHE, 2002; MARTINEZ, 2011), sendo os taninos aqueles que mais contribuem para a baixa digestibilidade do feijão comum. A ação antinutricional de taninos e fitatos está baseada na capacidade de formar complexos insolúveis, especialmente com minerais e proteínas, diminuindo assim sua biodisponibilidade (AMAROWICZ *et al.*, 2008).

Portanto, é necessário o processamento do feijão para torná-lo apto para o consumo humano. Tradicionalmente, os feijões são consumidos na forma cozida, que leva à diminuição de seus fatores antinutricionais tornando-os mais digeríveis (BRIGIDE *et al.*, 2014). No entanto existem outras formas de consumo que podem ser aplicadas aos feijões, assim como o descascamento, a maceração e a germinação, que são métodos utilizados para melhoria da qualidade nutricional,

principalmente de leguminosas e cereais (KHOKHAR; CHAUHAN, 1986; BARAMPAMA; SIMARD, 1994; BARAMPAMA; SIMARD, 1995).

A germinação de sementes é um processo bioquímico complexo que ocorre de forma natural em sementes e vem sendo difundida nas últimas décadas, pois é uma alternativa simples e econômica para melhorar as características nutricionais dos alimentos (KOEHLER *et al.*, 2007; MOONGNGARM; SAETUNG, 2010). Uma das principais consequências da germinação é a redução de fatores antinutricionais levando, conseqüentemente, a um aumento dos níveis de nutrientes, como vitaminas e minerais, bem como da sua biodisponibilidade, ou seja, os nutrientes tornam-se mais biodisponíveis para serem absorvidos pelo organismo (PROM-UTHAI *et al.*, 2006; GHAVIDEL; PRAKASH, 2007; WEI *et al.*, 2013).

Outra estratégia que pode ser utilizada para melhorar a qualidade nutricional dos alimentos e, conseqüentemente, auxiliar na diminuição de carências nutricionais é a incorporação de nutrientes aos alimentos (MINGUITA *et al.*, 2012). Atualmente, estudos de biofortificação de alimentos têm sido desenvolvidos por meio de programas de melhoramento genético, a fim de melhorar a qualidade nutricional de alimentos considerados base da alimentação (BODNAR *et al.*, 2013), que sejam de baixo custo de produção e fácil aceitação sensorial (MINGUITA *et al.*, 2012), objetivando assim, a diminuição de carências nutricionais de populações alvo (BODNAR *et al.*, 2013). A biofortificação foca, especialmente, em três micronutrientes que são reconhecidos pela Organização Mundial da Saúde como limitantes, o ferro, o zinco e a vitamina A (PFEIFFER; MCCLAFFERTY, 2007). O feijão comum tem se mostrado viável para a biofortificação uma vez que possui variabilidade genética em relação aos minerais ferro e zinco (WELCH *et al.*, 2000), sendo, portanto, uma alternativa tecnológica com amplo alcance social (WANDER *et al.*, 2011).

Entretanto, visto que seu consumo vem diminuindo no Brasil nos últimos anos (BRASIL, 2004; BRASIL, 2010), o consumo de feijão *in natura* vem se tornando menos competitivo uma vez que geralmente é adquirido na forma de grãos secos e crus, demandando um longo período de tempo para o seu preparo, tornando-o pouco competitivo em relação aos produtos semiprontos ou prontos para o consumo (CARNEIRO, 2001). Por isso, é importante a proposição de métodos tecnológicos de processamento que visem o desenvolvimento de produtos derivados do feijão por se tratar de um alimento tradicional da dieta dos brasileiros.

A secagem ou desidratação é um dos processos para a produção de farinhas (GOMES *et al.*, 2006). É utilizada para garantir uma maior durabilidade, bem como agregar valor ao alimento (GOKHALE; LELE, 2011). A secagem é uma das mais antigas formas de conservação de alimentos conhecidos pelo homem. É, portanto, um dos mais importantes métodos para este fim, devido à eficiência do processo e os efeitos positivos que exerce em relação à qualidade tecnológica dos produtos secos (AKPINAR *et al.*, 2006). Tem como principal objetivo a redução da atividade de água do alimento através da transferência de calor e massa, aumentando assim, o tempo de conservação do produto (IBARZ; BARBOSA-CANOVAS, 2002; CANO-CHAUCA *et al.*, 2004; FELLOWS, 2009; YUCEL *et al.*, 2010), outra consequência é a redução de custos com transporte e armazenagem (YUCEL *et al.*, 2010). Um dos aspectos mais importantes da secagem é prever o comportamento do processo de modo a aumentar a eficiência, visto que os processos de secagem possuem custo elevado o que normalmente inviabiliza a industrialização (YUCEL *et al.*, 2010), e a viabilidade comercial de alimentos desidratados depende, em grande parte, do consumo de energia do processamento (GOKHALE; LELE, 2011).

Para prever o comportamento do processo de secagem, é necessário o estudo da cinética da secagem. A mesma se baseia na elaboração de curvas de secagem assim como a proposição de modelos matemáticos para descrever o processo. A cinética de secagem tem como objetivo o conhecimento do comportamento do material no decorrer do processamento bem como a predição do tempo necessário para tal e seus custos operacionais (CARVALHO, 2014). O estudo da otimização do processamento é fundamental para a economia de tempo e energia envolvidos na secagem, preservando a qualidade do alimento desidratado (GOKHALE; LELE, 2011). Para isso, são utilizados modelos matemáticos para o ajuste aos dados experimentais. Diversos modelos matemáticos tem sido propostos (PIN *et al.*, 2009; PARDESHI *et al.*, 2009; RAHMAN *et al.*, 2009), e existem na literatura modelos teóricos, semiempíricos e empíricos que podem ser empregados para ajustá-los aos dados experimentais e descrever o processo de secagem dos alimentos (WAUGHON; PENA, 2008).

Assim, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a influência das temperaturas do ar de secagem na cinética de desidratação de feijões biofortificados e não biofortificados, sob os tratamentos de cozimento ou germinação comparando três modelos matemáticos semiempíricos, avaliando a influência da temperatura do

ar de secagem sobre as características físico-químicas das farinhas obtidas. E, dentro das perspectivas das modificações nutricionais que ocorrem com os feijões após o processamento de germinação, o trabalho teve como objetivo verificar os efeitos do processo de germinação, bem como do processo de cozimento dos feijões e avaliar os aspectos físico-químicos e nutricionais do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), verificando qual dos tratamentos seria mais eficiente para melhorar sua qualidade nutricional.

2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKPINAR, E. K.; BICER, Y.; CETINKAYA, F. Modelling of thin layer drying of parsley leaves in a convective dryer and under open sun. **Journal of food engineering**, v. 75, n. 3, p. 308-315, 2006.

AMAROWICZ, R.; ESTRELLA, I.; HERNÁNDEZ, T.; TROSZYNSKA, A. Antioxidant activity of extract of adzuki bean and its fractions. **Journal of Food Lipids**, v. 15, n. 1, p. 119–136, 2008.

BARAMPAMA, Z.; SIMARD, R. E. Effects of soaking, cooking and fermentation on composition *in vitro* starch digestibility and nutritive value of common beans. **Plant Foods For Human Nutrition**, v. 48, n. 4, p. 349-365, 1995.

BARAMPAMA, Z.; SIMARD, R. E. Oligossaccharides, antinutritional factors, and protein digestibility of dry beans as affected by processing. **Journal of Food Science**, v. 59, n. 4, p. 833-838, 1994.

BODNAR, A.L.; PROULX, A.K.; SCOTT, M.P.; BEAVERS, A.; REDDY, M.B. Iron Bioavailability of Maize Hemoglobin in a Caco-2 Cell Culture Model. **Journal of Agricultural Food Chemistry**, v. 61, n. 30, 7349–7356, 2013.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Pesquisa de Orçamentos Familiares 2002-2003 – POF. Rio de Janeiro, RJ, 2004. Acesso em: 19/09/2015. Disponível em: <<http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv4472.pdf>>

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Pesquisa de Orçamentos Familiares 2008-2009 – POF. Rio de Janeiro, RJ, 2010. Acesso em: 19/09/2015. Disponível em: <<http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv45419.pdf>>

BRIGIDE, P. **Disponibilidade de ferro em grãos de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) irradiados**. 2002. 71 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Escola Superior de Agricultura – “Luiz de Queiroz”, Universidade Federal de São Paulo, Piracicaba, 2002.

BRIGIDE, P.; CANNIATT-BRAZACA, S. G.; SILVA, M. O. Nutritional characteristics of biofortified common beans. **Food Science and Technology**, v. 34, n. 3, p. 493-500, 2014.

BROOKER, D. B.; BAKKER-ARKEMA, F. W.; HALL, C. W. **Drying and storage of grains and oilseeds**. Springer Science & Business Media, 1992.

CANO-CHAUCA, M.; RAMOS, A. M.; STRINGHETA, P. C.; MARQUES, J. A.; SILVA, P. I. Curvas de secagem e avaliação da atividade de água da banana passa. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, v. 22, n. 1, p. 121-132, 2004.

CARNEIRO, J. C. S. **Processamento industrial de feijão, avaliação sensorial descritiva e mapa de preferência**. 2001. 90p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

CARNEIRO, J. C. S.; MINIM, V. P. R.; SOUZA JÚNIOR, M. M.; CARNEIRO, J. E. S.; ARAÚJO, G. A. A. Perfil sensorial e aceitabilidade de cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 1, p. 18-24, 2005.

CARVALHO, M. S. **Produção de polpa de abóbora em pó pelo processo de secagem em leito de espuma**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, 2014.

FELLOWS, P. J. **Food Processing Technology. Principles and Practice**, 3ª ed. New York: CRC Press, 2009.

GHAVIDEL, R. A.; PRAKASH, J. The impact of germination and dehulling on nutrients, antinutrients, in vitro iron and calcium bioavailability and in vitro starch and protein digestibility of some legume seeds. **Food Science and Technology**, v. 40, p. 1292-1299, 2007.

GOKHALE, S. V.; LELE, S. S. Dehydration of red beet root (*Beta vulgaris*) by hot air drying: process optimization and mathematical modeling. **Food of Science Biotechnology**, v. 20, n. 4, p. 955-964, 2011.

GOMES, J. C.; SILVA, C. O. da; COSTA, N. M. B.; PIROZI, M. R. Desenvolvimento e caracterização de farinhas de feijão. **Revista Ceres**, v. 53, n. 309, p. 548-558, 2006.

GUZMÁN-MALDONADO, S. H.; CASTELLANOS, J.; MEJÍA, E. G. Relationship between theoretical and experimentally detected tannin content of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Food Chemistry**, v. 55, n. 4, p. 333-335, 1996.

IBARZ, A.; BARBOSA-CANOVAS, G. V. **Unit operations in food engineering**. Crc Press, 2002.

KHOKHAR, S.; CHAUHAN, B. M. Antinutritional factors in moth bean (*Vigna aconitifolia*): Varietal differences and effects of methods of domestics processing and cooking. **Journal Food Science**, v. 51, n. 3, p. 591-594, 1986.

KOEHLER, P.; HARTMANN, G.; WIESER, H.; RYCHLIK, M. Changes of Folates, Dietary fiber, and proteins in wheat as affected by germination. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 55, p. 4678-4683, 2007.

MARTINEZ, P. C. C. **Efeito da radiação gama e do processo de germinação sobre as características nutricionais do feijão**. 2011. 218 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Escola Superior de Agricultura – “Luiz de Queiroz”, Universidade Federal de São Paulo, Piracicaba, 2011.

MARTINEZ-DOMINGUEZ, B.; IBÁÑEZ, M. B.; RINCÓN, F. Acido fólico: aspectos nutricionales e implicaciones analíticas. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, v. 52, n. 3, p. 219-231, 2002.

MINGUITA, A. P. S.; CARVALHO, J. L. V.; SANTOS, J. O.; SILVA, E. S.; OLIVEIRA, E. M. Teor de ferro e zinco em massas alimentícias a base de mistura de farinha de trigo, farinha de arroz e farinha de feijão biofortificadas. **IV Simpósio de Ciência e Tecnologia de Alimentos**. João Pessoa, Paraíba, 2012.

MONTOYA, C. A.; LALLÈS, J. P.; BEEBE, S.; LATERME, P. Phaseolin diversity as a possible strategy to improve nutritional value of common beans (*Phaseolus vulgaris*). **Food Research International**, Essex, v. 43, n. 2, p. 443-449, 2010.

MOONGNARM, A.; SAETUNG, N. Comparison of chemical compositions and bioactive compounds of germinated rough rice and brown rice. **Food Chemistry**, v. 122, n. 3, p. 782–788, 2010.

PARDESHI, I. L.; ARORA, S.; BORKER, P. A. Thin-layer drying of green peas and selection of a suitable thin-layer drying model. **Drying Technology**, v. 27, n. 2, p. 288-295, 2009.

PFEIFFER, W.H.; MCCLAFFERTY, B. HarvestPlus: Breeding Crops for Better Nutrition. **Crop Science Society of America**, v. 47, n. 3 (supplement), p. 88–105, 2007.

PIN, K. Y.; CHUAH, T. G.; ABDULL-RASHIH, A.; LAW, C. L.; RASADAH, M. A.; CHOONG, T. S. Y. Drying of betel leaves (*Piper betle* L.): quality and drying kinetics. **Drying Technology**, v. 27, n. 1, p. 149-155, 2009.

PROM-U-THAI, C.; HUANG, L. B.; GLAHN, R. P.; WELCH, R. M.; FUKAI, S.; B. RERKASEM; S. Iron (Fe) bioavailability and the distribution of anti-Fe nutrition biochemicals in the unpolished, polished grain and bran fraction of five rice genotypes. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 86, n. 8, p.1209–1215, 2006.

RAHMAN, M. S.; AL-SHAMSI, Q. H.; BENGTSSON, G. B.; SABLANI, S. S.; AL-ALAWI, A. Drying kinetics and allicin potential in garlic slices during diferente methods of drying. **Drying Technology**, v. 27, n. 3, p. 467-477. 2009.

RAMIREZ-CÁRDENAS, L.; LEONEL A. J.; COSTA, N. M. B. Efeito do processamento doméstico sobre o teor de nutrientes e de fatores antinutricionais de diferentes cultivares de feijão comum. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 1, p. 200-213, 2008.

SATHE, S. K. Dry Bean Protein Functionality. **Critical Reviews in Biotechnology**, v. 22, n. 2, p. 175-223, 2002.

VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR, T. J. de; BORÉM, A. **Feijão**. Ed. UFV, Viçosa. 600p. 2006.

WANDER, A. E.; SILVA, O. F.; BARRIGOSI, J. A. F.; FERREIRA, C. M.; LANNA, A. C.; MELO, L. C.; NICOLI, C. M. L.; SOARES, D. M.; OLIVEIRA, M. G. C.; SANTIAGO, C. M. Impactos econômicos, sociais e ambientais da cultivar de feijoeiro comum BRS Pontal na terceira safra no Brasil Central (2008 - 2010). **IV Reunião de Biofortificação**. Teresina, Piauí, 2011.

WAUGHON, T. G. M.; PENA, R. da S. Modelagem da secagem em camada delgada da fibra residual do abacaxi. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, v. 26, n. 2, p. 297-306, 2008.

WEI, Y.; SHOHAG, M. J. I.; YING, F.; YANG, X.; WU, C.; WANG, Y. Effect of ferrous sulfate fortification in germinated brown rice on seed iron concentration and bioavailability. **Food chemistry**, v. 138, n. 2-3, p. 1952-1958, 2013.

WELCH, R. M.; HOUSE W. A.; BEEBE S.; CHENG Z. Genetic selection for enhanced bioavailable levels of iron in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seeds. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 48, n. 8, p. 3576-80, 2000.

YUCEL, U.; ALPAS, H.; BAYINDIRLI, A. Evaluation of high pressure pretreatment for enhancing the drying rates of carrot, apple, and green bean. **Journal of Food Engineering**, v. 98, p. 266–272, 2010.

3. OBJETIVOS

3.1. Geral

- Determinar a cinética de secagem de feijões biofortificado e não biofortificado submetidos aos processos de cozimento ou germinação pelo método de secagem convencional e analisar o efeito da temperatura de secagem, do cozimento e da germinação sob as características físico-químicas das farinhas obtidas.

3.2. Específicos

- Estudar a cinética de secagem dos feijões biofortificado e não biofortificado, submetidos aos processos de cozimento ou germinação, em cinco temperaturas de secagem (40, 50, 55, 60 e 70 °C);
- Avaliar o efeito da temperatura na cinética de secagem de feijões;
- Comparar diferentes modelos matemáticos no ajuste das curvas de secagem de feijões;
- Caracterizar as farinhas de feijão obtidas no processo de secagem;
- Avaliar o efeito do cozimento e da germinação sob as características físico-químicas das farinhas de feijão;
- Estimar a disponibilidade de ferro e zinco dos feijões;
- Avaliar qual o processamento seria mais eficiente em relação à qualidade nutricional dos feijões.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1. FEIJÃO

O feijão comum é pertencente à divisão *Fanerogamae*, subdivisão *Angiospermae*, classe *Dicotyledoneae*, família *Leguminosae*, subfamília *Papilionoideae*, gênero *Phaseolus* e espécie *Phaseolus vulgaris* L., segundo sua classificação botânica. A espécie *Phaseolus vulgaris* L. é a mais cultivada do gênero, que dentre elas ainda inclui *P. coccineus*, *P. acutifolius*, *P. lunatus* (YOKOYAMA, 2002).

Segundo evidências arqueológicas, o feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) foi uma das primeiras plantas cultivadas nas Américas. Estima-se que sua domesticação tenha sido a cerca de 5000 anos a.C. no México e, no Peru por volta de 3000 anos a.C., antes da domesticação do milho (FRANCELLI, 1987). O feijoeiro era cultivado também no Antigo Egito e na Grécia onde recebiam cultos em sua homenagem por ser considerado símbolo da vida. Sua disseminação pode ser atribuída às grandes guerras, uma vez que o feijão era fundamental na alimentação dos guerreiros. Além disso, as grandes explorações também contribuíram para sua dispersão, levando a cultura do feijoeiro para as mais diversas partes do mundo (VIEIRA; PAULA JÚNIOR, 2006).

O feijoeiro é uma cultura extremamente diversa quanto aos métodos de cultivo, utilização, adaptações em ambientes variados e também quanto à variedade morfológica. Devido a isso, podem ser encontrados desde o nível do mar até uma altitude de 3.000 metros, onde são cultivados em sistema de monocultura, em associações ou em sistema de rotação de cultura (BROUGHTON *et al.*, 2003).

4.1.1. Importância Econômica

A cultura do feijão é praticada em aproximadamente 100 países do mundo, com elevado número de espécies e variedades. Sete países são responsáveis pela maior parte da produção mundial (cerca de $\frac{3}{4}$). Durante muitos anos o Brasil foi o

maior produtor de feijão, porém a partir de 2009 perdeu o posto para a Índia e Myanmar. Entre os maiores produtores atualmente também surgem China, Estados Unidos e México (BRASIL, 2014). Devido às condições climáticas favoráveis o Brasil produz feijão durante todo o ano, o que justifica ser um dos maiores produtores mundiais desta leguminosa (RIOS *et al.*, 2003), incluindo variedades como: feijão preto, feijão mulatinho, feijão carioca, feijão pardo, feijão roxinho, dentre outros (CARNEIRO, 2005).

O mercado mundial movimenta anualmente, cerca de 23,0 milhões de toneladas de feijão, sendo o Brasil o terceiro maior produtor. Um dos principais obstáculos à exportação está no fato da maior parte da produção nacional (40%) ser do grupo carioca que, por sua vez apresenta alta deterioração. Apesar de esta variedade contar como a preferência nacional, possui aceitação limitada em outros países (BRASIL, 2014).

O plantio de feijão no Brasil se dá por sistema de monocultura ou consorciado com outras culturas. É considerada uma cultura de subsistência em pequenas propriedades e pequenos produtores, e são adotados também em complexos sistemas de produção que requerem o uso de tecnologias intensivas como a irrigação, controle fitossanitário e colheita mecanizada, ou seja, grandes produtores do agronegócio (BRASIL, 2014).

No Brasil, o plantio de feijão é estendido a todos os estados brasileiros, embora os principais sejam Paraná, Minas Gerais, Mato Grosso e Bahia, que juntos produzem atualmente cerca de 63% da produção nacional. Seguidos dos estados do Ceará, Goiás, São Paulo e Santa Catarina, onde a produção atual é de cerca de 20%. No período de 2014/15 a produção total de feijão no Brasil foi de 3,4 milhões de toneladas. O Brasil se destaca também como um dos maiores consumidores de feijão, sendo o produto que mais tem a sua produção ajustada ao consumo no Brasil, com o consumo médio anual de cerca de 3,5 milhões de toneladas, exigindo pequenas quantidades de importação, suficientes para suprir uma pequena diferença entre produção e consumo (BRASIL, 2015). Estima-se que sete em cada dez brasileiros consomem feijão todos os dias e o feijão carioca é o mais aceito no país, compreendendo 52% da área cultivada de feijão no território brasileiro (BRASIL, 2010).

Entretanto, o consumo de feijão no Brasil vem diminuindo nos últimos anos. Na década de 70 seu consumo chegou a cerca de 20 kg/*per capita*/ano. Segundo a

última Pesquisa de Orçamento Familiar (POF 2008/2009) o consumo de feijão ainda vem sendo reduzido. Em 2002-2003 o consumo *per capita* foi de 12,39 kg/ano (BRASIL, 2004), já em 2008-2009 reduziu para 9,12 kg/*per capita*/ano (BRASIL, 2010). Diversas razões contribuíram para a redução do consumo de feijão no Brasil, tais como: a sua substituição por fontes de proteína origem animal; o êxodo rural (consumo *per capita* rural mais elevado que o urbano); a mudança de hábitos alimentares com o advento do 'fast food' e estilo de vida da população; as fortes flutuações de oferta e preços; e a demora em o seu preparo (falta de praticidade) (WANDER, 2005; LEVY-COSTA *et al.*, 2005). Com isso, a cadeia produtiva do feijão está sendo desafiada a encontrar novas oportunidades de colocação do produto no mercado (WANDER, 2005).

4.1.2. Importância Nutricional

O feijão comum é produzido principalmente na América Latina e África Central, onde faz parte da alimentação básica de grande parte da população (MONTROYA *et al.*, 2010).

Um dos alimentos mais tradicionais na dieta alimentar dos brasileiros, o feijão comum apresenta grande importância na dieta humana devido ao seu valor nutricional, fornecendo nutrientes essenciais como proteínas, carboidratos (amido), fibras, vitaminas (principalmente complexo B) e minerais como ferro, cálcio, zinco, cobre e manganês (GUZMÁN-MALDONADO *et al.*, 1996; RAMÍREZ-CÁRDENAS *et al.*, 2008), sendo a melhor fonte vegetal de ferro (ferro não heme), contribuindo, assim, para uma alimentação mais saudável (BRIGIDE, 2002).

O feijão é considerado também a leguminosa de maior importância para a população mundial, principalmente onde o consumo da proteína animal é limitado por determinadas condições sociais, sejam elas econômicas, religiosas e/ou culturais (GEIL; ANDERSON, 1994; ROSTON, 1990). Além disso, o feijão é a principal fonte de proteína da dieta dos brasileiros, seguido pela carne bovina e pelo arroz (LAJOLO *et al.*, 1996).

É um dos vegetais mais ricos em proteínas, embora sua qualidade proteica seja inferior à dos produtos de origem animal, devido principalmente à deficiência

em aminoácidos sulfurados (metionina e cisteína), embora seja rico em lisina (TACO, 2012); e à resistência à proteólise em virtude da natureza das sementes, além da presença de outros compostos que possam reduzir a biodisponibilidade das proteínas (SATHE, 2002). Geralmente os feijões são consumidos juntamente com cereais, os quais são ricos em aminoácidos sulfurados e deficientes em lisina e, portanto, quando combinados ambos se completam em relação ao conteúdo de aminoácidos, obtendo-se pratos com uma boa qualidade proteica (DILIS; TRICHOPOULOU, 2009). O feijão é deste modo, uma excelente alternativa para o incremento da qualidade nutricional de populações devido seu conteúdo proteico, além de seu baixo custo em relação às proteínas de origem animal (MARTINEZ, 2011). Além disso, a fibra alimentar também é um importante constituinte dos grãos de feijão. De acordo com Tiwari e Cummins (2011), 55% da fibra presente no cotilédone dos grãos de feijão são correspondentes à pectina. Por outro lado, a celulose é o principal constituinte da fibra presente na casca (35-57%), a qual apresenta pouca hemicelulose e pectina.

A composição centesimal do feijão pode variar de acordo com o local de plantio, fatores ambientais e também com a cultivar. Na Tabela 1 encontram-se os teores médios da composição centesimal de algumas variedades de feijões cru, de acordo com a Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TACO, 2012).

Tabela 1 - Composição centesimal média (g/100 g) em base seca de variedades de feijão cru.

	Feijão Carioca	Feijão Preto	Feijão Rajado	Feijão Roxo
Carboidratos	61,2	58,8	62,9	60,0
Proteínas	20,0	21,3	17,3	22,2
Umidade	14,0	14,9	15,0	12,6
Cinzas	3,5	3,8	3,7	4,0
Lipídeos	1,3	1,2	1,2	1,2

Fonte: TACO, 2012.

Os benefícios do feijão estão associados aos seus métodos de processamento antes da ingestão, sendo necessário a maceração, o cozimento ou algum outro tipo de processamento para torná-los digeríveis. O processamento de

leguminosas, além de melhorar seu sabor e palatabilidade, também aumenta a biodisponibilidade de nutrientes e reduz seus fatores antinutricionais (CARDADOR-MARTINEZ *et al.*, 2002;. XU *et al.*, 2007).

4.2. FATORES ANTINUTRICIONAIS

O feijão comum possui elevado teor de compostos bioativos, dentre eles: lectinas, fitatos, inibidor de tripsina, oligossacarídeos e polifenóis (principalmente taninos condensados). Esses compostos podem desempenhar efeitos positivos ou negativos dependendo de sua concentração, podendo reduzir o risco de desenvolvimento de algumas doenças, atuando como antioxidantes ou atuarem como fatores antinutricionais (DÍAZ-BATALLA *et al.*, 2006). A presença de fatores antinutricionais são características indesejáveis no feijão e demais leguminosas, uma vez que as quantidades são suficientemente elevadas, limitando assim sua aceitação e seu valor nutricional (SANGRONIS *et al.*, 2006; SHIMELIS *et al.*, 2007; RAMÍREZ-CÁRDENAS *et al.*, 2008).

Fatores antinutricionais são compostos ou classes de compostos presentes numa extensa variedade de alimentos de origem vegetal, que quando consumidos, reduzem o valor nutritivo desses alimentos (BENEVIDES *et al.*, 2011). As presenças de fatores antinutricionais levam a uma conseqüente diminuição do valor nutricional de suas proteínas e carboidratos, além de reduzir a biodisponibilidade de minerais, formando complexos insolúveis não absorvidos (SANGRONIS *et al.*, 2006; SHIMELIS *et al.*, 2007; RAMÍREZ-CÁRDENAS *et al.*, 2008).

Porém, estes problemas podem ser contornados através do processamento adequado, que por sua vez contribui para a eliminação desses compostos indesejáveis (RAMÍREZ-CÁRDENAS *et al.*, 2008). Sabe-se que as formas de preparo podem alterar consideravelmente os teores dessas substâncias em leguminosas (VALDÉS, 2010). O descascamento, a maceração, o cozimento e a germinação são métodos utilizados para melhorar a qualidade nutricional do feijão (KHOKHAR; CHAUHAN, 1986; BARAMPAMA; SIMARD, 1994; BARAMPAMA; SIMARD, 1995; RAMÍREZ-CÁRDENAS *et al.*, 2008; MARTINEZ, 2011), contribuindo para a redução desses fatores antinutricionais nos grãos (BARAMPAMA; SIMARD,

1994; RAMÍREZ-CÁRDENAS *et al.*, 2008), tornando-os aptos para o consumo humano.

Os principais fatores antinutricionais encontrados no feijão comum são os taninos condensados, que são compostos fenólicos, e o ácido fítico, que é a principal forma de armazenamento de fósforo do grão (MARTINEZ-DOMINGUEZ *et al.*, 2002; SATHE, 2002; MARTINEZ, 2011). A ação antinutricional de taninos e fitatos está baseada na capacidade de formar complexos insolúveis com minerais, proteínas e amidos biologicamente indisponíveis para seres humanos em condições fisiológicas normais (AMAROWICZ *et al.*, 2008).

Os taninos são compostos fenólicos solúveis em água de alto peso molecular (500 a 3000 kDa) e são divididos em dois grupos: os taninos hidrolisáveis e taninos condensados ou não hidrolisáveis (DÍAZ *et al.*, 2010). Mais especificamente, os taninos são flavonoides poliméricos presentes nas plantas e contém grupos hidroxila fenólica suficiente para formar complexos com proteínas. Os polifenóis estão presentes em todas as partes da planta, mas se localizam principalmente no tegumento ou casca do grão (SATHE, 2002). O teor de taninos nos feijões é dependente da espécie e variedade bem como da cor do tegumento, ou seja, o branco contém quantidades menores, enquanto o vermelho e o preto possuem quantidades maiores (COELHO *et al.*, 2007). Dentre os antinutrientes, os taninos são os que mais contribuem para a baixa digestibilidade do feijão e consequente redução do valor nutritivo, devido à sua capacidade de formar complexos estáveis com proteínas (SATHE, 2002), além de atuarem como quelantes de metais, formando complexos com minerais levando à diminuição de sua biodisponibilidade (REISCHE *et al.*, 2002; RAMIREZ-CÁRDENAS *et al.*, 2008).

O ácido fítico também conhecido como ácido hexafosfórico mio-inositol, ou ainda, mio-inositol 1,2,3,4,5,6 hexafosfato é um composto natural que está presente em todo o reino vegetal e é formado no processo de maturação da semente (VILLAVICENCIO *et al.*, 2000). Os fitatos são a principal forma de armazenamento de fósforo em sementes de cereais e leguminosas. Sua ação antinutricional está baseada na capacidade de formar complexos insolúveis com minerais (como cálcio, zinco, ferro e magnésio) e proteínas, diminuindo assim sua biodisponibilidade, além de inibir enzimas proteolíticas e amilolíticas (SILVA; SILVA, 1999; MARTINEZ-DOMÍNGUEZ *et al.*, 2002).

Durante a estocagem, fermentação, germinação, processamento e digestão dos grãos e sementes, o ácido fítico pode ser parcialmente desfosforilado, produzindo hexafosfato de inositol (IP6), pentafofosfato (IP5), tetrafosfato (IP4), trifosfato (IP3) e, possivelmente, inositol difosfato (IP2) e monofosfato (IP1), por ação de fitases endógenas (TOLEDO; CANNIATTI-BRAZACA, 2008). Porém, somente IP6 e IP5 possuem efeito negativo na disponibilidade de minerais (BONETT *et al.*, 2007). Atualmente, estudos tem demonstrado que este antinutriente não é totalmente degradado pela cocção ou pelo processo digestivo (RAMIREZ-CÁRDENAS *et al.*, 2008). Entretanto, o ácido fítico e os compostos fenólicos, quando em baixas concentrações, apresentam também efeitos positivos sobre a saúde como ação protetora e antioxidante, podendo atuar na redução do risco de doenças como o câncer e enfermidades cardiovasculares (SHAHIDI, 1997; MARTINEZ-DOMINGUEZ *et al.*, 2002).

4.2.1. Razão Molar Fitato:Mineral

O efeito inibitório do fitato sob a disponibilidade de minerais é bem conhecido (FREDLUND *et al.*, 2006; HURRELL *et al.*, 2003; MA *et al.*, 2007), por isso, métodos que estimem este efeito são bastante utilizados. A biodisponibilidade de minerais tem sido avaliada por meio das razões molares entre o fitato e os minerais da dieta ou do alimento (SIQUEIRA *et al.*, 2007). É sabido que a razão molar está associada à capacidade de absorção de minerais. Portanto, é possível avaliar previamente o efeito inibitório do fitato na absorção de ferro e zinco *in vitro* por meio da razão molar (LESTIENNE *et al.*, 2005).

A razão molar baseia-se em valores críticos da proporção molar fitato/mineral, como uma medida da disponibilidade potencial mineral (MARIN *et al.*, 2009) para ferro (HURRELL, 2004), cálcio (UMETA *et al.*, 2005) e zinco (HOTZ; BROWN, 2004; HEMALATHA *et al.*, 2007). Alguns autores determinam valores críticos e classificam quanto à alta, média ou baixa disponibilidade. Razões molares Fitato:Ferro maiores que o valor crítico de 14 comprometem a biodisponibilidade desse mineral em animais e humanos, já razões molares abaixo deste valor, são consideradas de média a alta disponibilidade (ELLIS *et al.*, 1987; SAHA *et al.*, 1994; LESTIENNE *et al.*, 2005). Em relação à disponibilidade de zinco, a Organização Mundial de Saúde

(WHO, 1996) determina que dietas com razão molar Fitato:Zinco acima de 15 apresentam baixa biodisponibilidade, com absorção variando entre 10% a 15%, já uma razão molar entre 5 e 15 é classificada como média biodisponibilidade, com absorção variando de 30% a 35% e, abaixo de 5 apresentam uma alta biodisponibilidade de zinco.

4.3. ALIMENTOS BIOFORTIFICADOS

A carência de micronutrientes é considerada um problema de saúde pública e acomete todas as camadas da sociedade, principalmente em países menos desenvolvidos (COSTA, 2008). Em contrapartida, os níveis da deficiência de minerais em países industrializados também são expressivos, em detrimento de uma dieta não balanceada, pouco saudável e rica em gorduras e açúcar (RIBEIRO, 2010). Uma das estratégias para diminuir a carência nutricional da população é a incorporação de nutrientes aos alimentos, que sejam de baixo custo de produção e fácil aceitação sensorial, agregando assim, maior valor nutritivo (MINGUITA *et al.*, 2012).

A fortificação e a biofortificação de alimentos têm sido empregadas a fim de minimizar possíveis problemas decorrentes da má nutrição (HOTZ; MCCLAFFERTY, 2007; RIBEIRO, 2010). A biofortificação de alimentos por meio do melhoramento genético é uma alternativa tecnológica com amplo alcance social (WANDER *et al.*, 2011). Este método propõe a utilização de modificações agrícolas como uma intervenção de saúde pública. Aliando a utilização de técnicas convencionais de melhoramento e a biotecnologia, a biofortificação de alimentos vem sendo utilizada visando à melhoria da qualidade de micronutrientes em alimentos considerados básicos na dieta, contribuindo assim para a melhoria do estado nutricional de populações, principalmente em países em desenvolvimento (HOTZ; MCCLAFFERTY, 2007). Além disso, tem como objetivo a obtenção de cultivares com características produtivas e comerciais melhoradas como o aumento da produtividade, da estabilidade do rendimento e da qualidade dos grãos (EMBRAPA, 2003; FROTA *et al.*, 2000).

Os programas de melhoramento genético do feijoeiro visam obter variedades que apresentem alta produtividade, aliada à resistência às doenças, com produção de sementes possuindo forma, tamanho, cor e brilho aceitáveis no mercado. Além disso, os grãos de feijão devem possuir características culinárias e nutricionais desejáveis, como facilidade de cocção, boa palatabilidade, textura macia do tegumento, capacidade de produzir caldo claro e denso após o cozimento, maior teor de proteínas e minerais (MESQUITA *et al.*, 2007).

O enfoque da pesquisa para produção de feijões biofortificados consiste no aumento dos teores de ferro e zinco em variedades agronomicamente superiores (HOUSE *et al.*, 2002). A biofortificação de ferro e zinco tem se mostrado viável em programas de melhoramento genético com feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.), uma vez que este possui variabilidade genética em relação aos minerais. Dessa forma, é possível produzir aumentos significativos nas concentrações de ferro e zinco em feijões, mesmo contendo níveis muito elevados de fatores antinutricionais, como ácido fítico e taninos, que são capazes de diminuir sua disponibilidade e absorção (WELCH *et al.*, 2000).

4.3.1. Programas de Biofortificação no Brasil e no mundo

O projeto mundial de biofortificação HarvestPlus é um Programa de Desafio do Grupo Consultivo sobre Pesquisa Agrícola Internacional (CGIAR) que desenvolve culturas biofortificadas a fim de fornecer micronutrientes para a população vulnerável da África e Ásia. O projeto trabalha visando projetar, produzir, testar e divulgar produtos alimentares básicos que são enriquecidos com ferro, zinco e pró-vitamina A (HOTZ; MCCLAFFERTY, 2007).

No Brasil, a partir de 2004, tiveram início as atividades dos projetos de biofortificação da HarvestPlus Brasil, que é coordenado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). O projeto AgroSalud se iniciou em 2005 para complementar o HarvestPlus. A participação do projeto AgroSalud previa a integração entre países da América Latina e Caribe, África e Sudeste Asiático com a expectativa que o Brasil desenvolva e transfira não só os cultivos biofortificados, mas também a tecnologia pós-colheita. Possibilitando também, a inserção dos

cultivos de arroz e batata doce biofortificados, complementando então o projeto HarvestPlus. Em 2008, foi aprovado o projeto BioFORT (Biofortificação no Brasil) desenvolvendo produtos agrícolas mais nutritivos com recursos nacionais para custeio e investimento. Este projeto inclui onze unidades da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), além de diversas universidades parceiras. Desde então, sob o objetivo agrícola da HarvestPlus, o progresso na criação de cultivos biofortificados tem sido constante, com níveis promissores de zinco, ferro e provitamina A (carotenoides) a ser alcançado em diversas culturas de alimentos básicos da população (NUTTI, 2011).

4.4. GERMINAÇÃO

A prática da germinação de grãos surgiu há mais de 2 mil anos com os povos Essênios que viviam na região de Qumran, perto do Mar Morto. Povo culto que mantinham práticas de arte, culinária e agricultura. Seus hábitos eram vegetarianos crudivoristas, onde usavam a germinação do trigo e do gergelim para o preparo de seus alimentos. Desde então, a cultura da germinação como forma de alimento foi sendo disseminada pelo mundo (GONZALEZ, 2011).

As sementes germinadas, assim como seus brotos, são alimentos classificados como biogênicos, segundo sua vitalidade. Neste momento, encontram-se em uma etapa vital de transformação, onde deixam seu estado de latência e germinam como forma de perpetuação de sua espécie (TRUCOM, 2012). Para isso acontecer, devem-se oferecer condições ambientais mínimas necessárias para o “despertar” dessas sementes (GARCÍA; PRIMO, 1993; SANGRONIS; MACHADO, 2007).

Para iniciar o processo de germinação é necessário, primeiramente, a imersão dos grãos em água, sendo que o tempo de imersão dependerá da variedade do grão (LESTIENNE *et al.*, 2005). Este é, portanto, o primeiro passo para despertar as sementes do seu estado de dormência (HEMALATHA *et al.*, 2007). Com isso ocorre a fase de ativação metabólica iniciando processos metabólicos pré-germinativos, onde enzimas tornam-se ativadas, ocorrendo intenso metabolismo de suas reservas (carboidratos, proteínas, lipídeos e demais compostos). Esta fase é

marcada pela protusão da radícula (FERREIRA; BORGHETTI, 2004) em que a semente deixa sua fase de latência para o crescimento do embrião, com o subsequente rompimento do tegumento pela radícula (Figura 1). A partir de então, inicia-se o crescimento e desenvolvimento da planta (GARCÍA; PRIMO, 1993; SANGRONIS; MACHADO, 2007).



Fonte: Autor (2016).

Figura 1 – Sementes de Feijão e Lentilha com 24 horas de germinação.

Sementes de leguminosas necessitam, antes do seu consumo, de serem processadas para melhorar o perfil nutricional e diminuir os fatores antinutricionais (MARTÍN-CABREJAS *et al.*, 2009). O descascamento, a maceração, o cozimento e a germinação são métodos utilizados para melhoraria da qualidade nutricional de leguminosas e cereais (KHOKHAR; CHAUHAN, 1986; BARAMPAMA; SIMARD, 1994; BARAMPAMA; SIMARD, 1995). A germinação de sementes é uma das formas de aumentar os níveis de nutrientes nos alimentos, como vitaminas e minerais, bem como a sua biodisponibilidade (KOEHLER *et al.*, 2007).

A germinação representa a retomada do ciclo de vida do grão e a absorção de água pelas sementes, desencadeia uma série de reações bioquímicas (OLIVEIRA *et al.*, 2012) que contribuem para a redução de fatores antinutricionais, melhorando sua digestibilidade e potencializando a qualidade nutricional (AGUILERA *et al.*, 2013), bem como as propriedades funcionais do grão (SWIECA *et al.*, 2012). A germinação é um processo bioquímico complexo que ocorre em sementes (KOEHLER *et al.*, 2007). Este é um processo biológico natural de todas as plantas superiores, na qual, a semente deixa sua fase de latência, quando as condições ambientais mínimas necessárias para o seu crescimento e

desenvolvimento, tais como umidade, temperatura e nutrientes lhe são dadas (GARCÍA; PRIMO, 1993; SANGRONIS; MACHADO, 2007; VILAS BOAS *et al.*, 2002). Determinadas mudanças podem ocorrer durante o processo de germinação, que podem variar dependendo do tipo do vegetal, da variedade da semente e das condições da germinação, como tempo e temperatura (BAU *et al.*, 1997; DHALIWAL; AGGARWAL, 1999; SANGRONIS; MACHADO, 2007).

Esta forma de consumo vem sendo difundida nas últimas décadas, visto que é uma alternativa simples e econômica para a melhoria da qualidade nutricional de alimentos (KOEHLER *et al.*, 2007; MOONGNARM; SAETUNG, 2010). Diversos estudos têm demonstrado estes benefícios de sementes germinadas. Além de melhorar a qualidade nutricional das sementes, é uma excelente fonte de compostos bioativos (DONKOR *et al.*, 2012; LÓPEZ *et al.*, 2013), e antioxidantes (SWIECA *et al.*, 2012). Outra consequência da germinação é em relação às mudanças na composição centesimal dos grãos. Há relatos da melhoria na qualidade nutricional de proteínas (CARPENTER *et al.*, 1989; WONGSIRI *et al.*, 2015), devido à biossíntese durante a germinação e à diminuição de taninos, que por sua vez, formam complexos com proteínas, diminuindo sua disponibilidade (SATTAR *et al.*, 1989; VENDERSTOEP, 1981). Além disso, também há o aumento nos teores de certos aminoácidos (CARPENTER *et al.*, 1989; WONGSIRI *et al.*, 2015). Os carboidratos são hidrolisados em açúcares simples (EGLI; TEKRONY, 1997), que diminuem ao passar do tempo devido à sua utilização como fonte de energia, principalmente, para o início da germinação (MARERO *et al.*, 1990; BAU, *et al.*, 1997).

A germinação também tem demonstrado mudanças positivas na composição de fibras alimentares totais (HUNG *et al.*, 2012; DUEÑAS *et al.*, 2016), insolúveis (BERNI; CANNIATTI-BRAZACA, 2011; DUEÑAS *et al.*, 2016) e solúveis (CHANG *et al.*, 2006; MARTÍN-CABREJAS *et al.*, 2008; BERNI; CANNIATTI-BRAZACA, 2011), como consequência, principalmente, do aumento de celulose devido às reações metabólicas sofridas pelas sementes durante a germinação (DUEÑAS *et al.*, 2016).

Além disso, a redução do conteúdo de compostos que interferem na disponibilidade de alguns nutrientes é uma das principais consequências da germinação. O processo germinativo afeta o conteúdo dos chamados fatores antinutricionais presentes nas sementes, principalmente em leguminosas. Estes compostos diminuem a absorção de nutrientes como vitaminas, minerais e

proteínas. Como consequência à diminuição desses inibidores, a disponibilidade dos nutrientes é melhorada, ou seja, os nutrientes tornam-se mais biodisponíveis para serem absorvidos pelo organismo (PROM-U-THAI *et al.*, 2006; GHAVIDEL; PRAKASH, 2007; WEI *et al.*, 2013).

A biodisponibilidade dos minerais, principalmente magnésio, cálcio, ferro e zinco, e proteínas são baixas antes do processo de germinação, pois o ácido fítico interfere na utilização de proteína devido à formação de complexos entre fitato-proteína e complexos fitato-mineral-proteína, além disso, interfere também na inibição de enzimas digestivas (WANG *et al.*, 2006).

Ghavidel e Prakash (2007) demonstraram uma diminuição significativa nos teores de ácido fítico e tanino, chegando a 47-52% e 43-52%, respectivamente. Estudos tem demonstrado que a diminuição nos teores de taninos pode ser explicada pela oxidação de polifenóis durante a germinação, levando à hidrólise enzimática dos mesmos (SANGRONIS; MACHADO, 2007; GHAVIDEL PRAKASH, 2007). O ácido fítico é acumulado durante a maturação e atua como fonte de fósforo e cátions para a semente durante seu crescimento. Sua redução se dá pelo aumento da atividade da enzima fitase que gera como produto de sua hidrólise o fosfato inositol, nutriente para o processo de germinação (REDDY, 2002; PRAZERES *et al.*, 2004; SANGRONIS; MACHADO, 2007). Outro fator para a diminuição de taninos e ácido fítico seria a lixiviação desses compostos para a água, consequência do processo de imersão dos grãos na água (LESTIENNE *et al.*, 2005).

4.5. SECAGEM

Métodos de conservação podem ser aliados para garantir maior durabilidade dos alimentos bem como a agregação de valor ao produto (GOKHALE; LELE, 2011). A secagem é uma das mais antigas formas de conservação de alimentos conhecidos pelo homem. É, portanto, um dos mais importantes métodos para este fim, devido à eficiência do processo e os efeitos positivos que exerce em relação à qualidade tecnológica dos produtos secos (AKPINAR *et al.*, 2006).

O processo de secagem tem por objetivo a redução da atividade de água (A_w) do alimento, removendo a maior parte da água normalmente presente em um alimento por meio de evaporação através de calor sob condições controladas de secagem, uma vez que a água afeta de maneira decisiva o tempo de conservação dos alimentos, influenciando diretamente sua qualidade e durabilidade (IBARZ; BARBOSA-CANOVAS, 2002; CANO-CHAUCA *et al.*, 2004; FELLOWS, 2009; YUCEL *et al.*, 2010).

Durante a desidratação, o ar é empregado para o transporte de calor e de massa de vapor de água, sendo o responsável pela troca entre o alimento e o ar (IBARZ; BARBOSA-CANOVAS, 2002), removendo a umidade através da transferência simultânea de calor e de massa (YUCEL *et al.*, 2010). Durante a transferência de calor, ocorre evaporação de substâncias voláteis presentes na superfície do material, enquanto na transferência de massa, ocorre a perda de umidade do interior do produto para a superfície, com conseqüente evaporação (FOUST *et al.*, 1982).

A atividade da água é um fator importante para a conservação do produto devido às alterações físico-químicas e microbiológicas que podem ocorrer durante o processamento e armazenamento do produto (CANO-CHAUCA *et al.*, 2004). A baixa umidade do produto seco leva à redução do risco de crescimento microbiano e retarda reações químicas indesejáveis (IBARZ; BARBOSA-CANOVAS, 2002). Além disso, a desidratação fornece um produto mais conveniente e prático para o consumidor e ingredientes com manipulação facilitada para processadores de alimentos (FELLOWS, 2009).

A secagem ou desidratação, além de ser um procedimento utilizado para a conservação de alimentos, também apresenta vantagens econômicas no que se refere à redução de custos, como de transporte e armazenagem (YUCEL *et al.*, 2010), uma vez que há a redução de massa e de volume do alimento seco (HATAMIPOUR *et al.*, 2007; FELLOWS, 2009; ZHU; JIANG, 2014). A secagem convencional é um dos processos mais utilizados para a produção de farinhas (GOMES *et al.*, 2006). Para que o processo de secagem seja realizado de forma segura e econômica é fundamental conhecer e monitorar os fenômenos físicos existentes durante a secagem (MARTINAZZO *et al.*, 2007).

Por isso a secagem visa à manutenção da qualidade do alimento tanto em termos físico-químicos quanto tecnológicos. No entanto, este processo pode alterar

algumas características dos alimentos como, por exemplo, cor, textura, aroma e qualidade nutricional (GOKHALE; LELE, 2011).

Um dos aspectos mais importantes da secagem é prever o comportamento do processo de modo a aumentar a eficiência, visto que os processos de secagem possuem custo elevado o que normalmente inviabiliza a industrialização (YUCEL *et al.*, 2010). Por isso, a viabilidade comercial de alimentos desidratados depende, em grande parte, do consumo de energia do processamento (GOKHALE; LELE, 2011).

Existe, portanto, a necessidade de otimização do processo para a redução do tempo e consequente redução de custos de energia envolvidos na secagem, de forma a preservar a qualidade do alimento desidratado em termos de cor, nutrientes, propriedades de reidratação (GOKHALE; LELE, 2011) e estabilidade no armazenamento, uma vez que a secagem é um processo que normalmente envolve o uso de temperaturas elevadas, passível de provocar a degradação e a oxidação de alguns nutrientes (TONON *et al.*, 2006). Portanto esse processo pode causar modificações tanto na qualidade sensorial quanto no valor nutricional do alimento. Essas características dependerão do tipo de secador, dos parâmetros do processamento e também do pré-tratamento do material a ser seco (YUCEL *et al.*, 2010). O projeto e a operação de equipamentos de secagem objetivam minimizar essas alterações por meio da seleção de condições apropriadas de desidratação para cada alimento em particular (FELLOWS, 2009). No processo de secagem convencional, por meio de ar quente, o secador é previamente projetado para operar em faixas específicas padronizadas de temperatura do ar em presença de umidade, visando monitorar a perda de peso do produto analisado (HUTCHINSON, OTTEN; 1983). Pois uma das dificuldades dos processos de secagem é a temperatura, que quanto maior, menor seria o tempo de secagem, porém, há uma perda de qualidade considerável no produto final, devido à degradação de nutrientes e as modificações na cor e textura (JORGE, 2014).

4.5.1. Curvas de Secagem

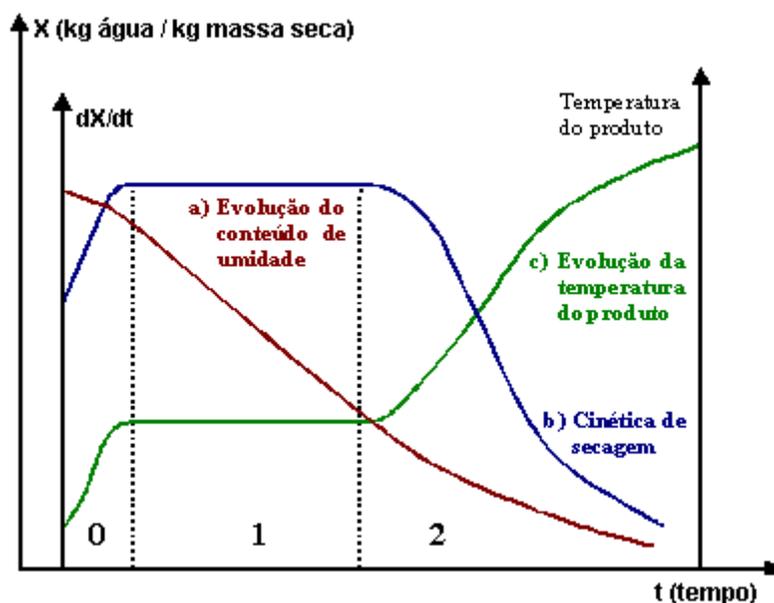
A partir de dados do processo de secagem torna-se possível a construção de curvas de secagem. O estudo da cinética de secagem se baseia na elaboração de

curvas de secagem assim como a proposição de modelos matemáticos para descrever o processo. A cinética de secagem tem como objetivo o conhecimento do comportamento do material no decorrer do processo bem como a predição do tempo necessário para tal e seus custos operacionais (CARVALHO, 2014).

O estudo das curvas de secagem é de fundamental importância para o desenvolvimento de processos e para o dimensionamento de equipamentos (CANO-CHAUCA *et al.*, 2004; VILELA; ARTUR, 2008). Com elas pode-se estimar o tempo de secagem e, portanto, o planejamento de produção (VILELA; ARTUR, 2008). As curvas de secagem podem auxiliar na escolha do tempo e temperatura de secagem para a obtenção de um produto com a umidade requerida, sendo possível obter um produto de boa qualidade (CANO-CHAUCA *et al.*, 2004). Com o tempo necessário para a produção, estima-se os gastos energéticos e consequentes custos operacionais, que refletirá no preço final do produto (VILELA; ARTUR, 2008). No que diz respeito ao dimensionamento de equipamentos, através das curvas é possível determinar as condições de operações para secagem, trocadores de calor, ventiladores, dentre outros (DIONELLO *et al.*, 2009).

As características de secagem dos diversos tipos de alimentos têm sido estudadas e a utilização de modelos matemáticos para o ajuste aos dados experimentais tem sido muito utilizado na prática. Diversos modelos matemáticos têm sido propostos para descrever o processo de secagem de alimentos (PIN *et al.*, 2009; PARDESHI *et al.*, 2009; RAHMAN *et al.*, 2009). Existem na literatura modelos matemáticos, teóricos, semiempíricos e empíricos que podem ser empregados (WAUGHON; PENA, 2008). Os modelos teóricos normalmente consideram as condições externas bem como os mecanismos internos de transferência de energia e massa e seus efeitos, dentre eles estão: Fluxo hidrodinâmico e as difusões líquidas, capilar, superficial, de vapor e térmica (SOUSA *et al.*, 2011). Os modelos semiempíricos baseiam-se na Lei de Newton para resfriamento aplicada à transferência de massa, presumindo-se que as condições sejam isotérmicas e que a resistência à transferência de água se restrinja à superfície do produto, dentre eles encontram-se o modelo Dois Termos, Henderson e Pabis, Lewis e o modelo de Page. Já os modelos empíricos consistem em formar grupos físicos adimensionais que podem ser facilmente investigados por experimentos de laboratório e baseiam-se nas condições externas, como temperatura, razão da mistura e velocidade do ar de secagem (BROOKER *et al.*, 1992).

De acordo com Park *et al.*, (2001) o processo de secagem de produtos agrícolas se baseia em três fases, conforme a Figura 2. Cada uma dessas fases ocorre de forma distinta, em que se tem as curvas de secagem, variação da taxa de secagem ou cinética de secagem e a evolução da temperatura durante o tempo de secagem.



Fonte: Park *et al.*, 2001.

Figura 2 – Curvas típicas de secagem.

A curva (a) representa a diminuição do teor de água do produto ou conteúdo de umidade em base seca (X) durante a secagem, em relação à evolução do tempo de secagem (t). A curva (b) representa a velocidade (taxa) de secagem do produto, variação do conteúdo de umidade do produto por tempo, dX/dt em relação à evolução do tempo (t), isto é, é a curva obtida diferenciando a curva (a). A curva (c) representa a variação da temperatura do produto durante a secagem (variação da temperatura do produto (T) em relação à evolução do tempo t), isto é, é a curva obtida medindo a temperatura do produto durante a secagem (PARK *et al.*, 2001).

Ao analisar a curva de secagem é possível observar que a secagem é dividida em três períodos. O primeiro período é o período mais curto, onde ocorre a elevação gradual da temperatura e da pressão de vapor de água, que são elevadas até o ponto em que ocorra o equilíbrio entre a transferência de calor e à

transferência de massa (água). O segundo período é caracterizado pela taxa constante de secagem, regido pela convecção, em que as transferências de massa e de calor se equivalem e, portanto, a velocidade de secagem permanece constante enquanto houver quantidade de água na superfície do produto suficiente para ser evaporada. Já no terceiro período, a taxa de secagem é decrescente regido pela difusão. A transferência de massa está reduzida uma vez que a quantidade de água presente na superfície do produto é menor. Então, como a transferência de calor não é compensada pela transferência de massa; ocorre a redução da migração de umidade do interior para a superfície do produto. Quando o produto atinge o ponto de umidade de equilíbrio em relação ao ar de secagem, encerra-se o processo (PARK *et al.*, 2001; GEANKOPLIS, 2003).

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUILERA, Y.; DÍAZ, M.F.; JIMÉNEZ, T.; BENÍTEZ, V.; HERRERA, T.; CUADRADO, C.; MARTIN-PEDROSA, M.; MARTIN-CABREJAS, M. A. Changes in non-nutritional factors and antioxidant activity during germination of nonconventional legumes. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 61, n. 34, p. 8120–8125, 2013.

AKPINAR, E. K.; BICER, Y.; CETINKAYA, F. Modelling of thin layer drying of parsley leaves in a convective dryer and under open sun. **Journal of food engineering**, v. 75, n. 3, p. 308-315, 2006.

AMAROWICZ, R.; ESTRELLA, I.; HERNÁNDEZ, T.; TROSYNSKA, A. Antioxidant activity of extract of adzuki bean and its fractions. **Journal of Food Lipids**, v. 15, n. 1, p. 119–136, 2008.

BARAMPAMA, Z.; SIMARD, R. E. Effects of soaking, cooking and fermentation on composition *in vitro* starch digestibility and nutritive value of common beans. **Plant Foods For Human Nutrition**, v. 48, n. 4, p. 349-365, 1995.

BARAMPAMA, Z.; SIMARD, R. E. Oligossaccharides, antinutritional factors, and protein digestibility of dry beans as affected by processing. **Journal of Food Science**, v. 59, n. 4, p. 833-838, 1994.

BAU, H. M.; VILLAUME, C.; NICOLAS, J. P.; MEJEAN, L. Effect of germination on chemical composition, biochemical constituents and antinutritional factors of soya bean (*Glycine max*) seeds. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 73, n. 1, p. 1-9, 1997.

BENEVIDES, C. M. de J.; Souza, M. V.; Souza, R. D. B.; Lopes, M. V. Fatores antinutricionais em alimentos: revisão. **Segurança Alimentar e Nutricional**, v. 18, n. 2, p. 67-79, 2011.

BERNI, P. R. A.; CANNIATTI-BRAZACA, S. G. Efeito da germinação e da sanitização sobre a composição centesimal, teor de fibras alimentares, fitato, taninos e disponibilidade de minerais em trigo. **Alimentos e Nutrição**, v. 22, n. 3, p. 407-420, 2011.

BONETT, L. P.; BAUMGARTNER, M. D. S. T.; KLEIN, Â. C.; SILVA, L. I. D. Compostos nutricionais e fatores antinutricionais do feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.). **Arquivos de Ciências da Saúde UNIPAR**, v. 11, n. 3, p. 235-246, 2007.

BRASIL. Companhia Nacional de Abastecimento. Perspectivas para a agropecuária: Safa 2014/2015 / Companhia Nacional de Abastecimento - Conab, v. 2, p. 1-155, Brasília, DF, 2014. Acesso em: 16/04/2016. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14_09_10_18_03_00_peperspectiv_2014-15.pdf>

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Pesquisa de Orçamentos Familiares 2002-2003 – POF. Rio de Janeiro, RJ, 2004. Acesso em:

19/09/2015. Disponível em: <
<http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv4472.pdf>>

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Pesquisa de Orçamentos Familiares 2008-2009 – POF. Rio de Janeiro, RJ, 2010. Acesso em: 19/09/2015. Disponível em: <
<http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv45419.pdf>>

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Projeções do Agronegócio 2014/15 a 2024/25 – Projeções de longo prazo. 6ª edição, Brasília, DF, 2015. Acesso em: 16/04/2016. Disponível em: <
http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/PROJECOES_DO_AGRONEGOCIO_2025_WEB.pdf>

BRIGIDE, P. **Disponibilidade de ferro em grãos de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) irradiados**. 2002. 71 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Escola Superior de Agricultura – “Luiz de Queiroz”, Universidade Federal de São Paulo, Piracicaba, 2002.

BROOKER, D. B.; BAKKER-ARKEMA, F. W.; HALL, C. W. **Drying and storage of grains and oilseeds**. Springer Science & Business Media, 1992.

BROUGHTON, W. J.; HERNÁNDEZ, G.; BRAIR, M.; BEEBE, S.; GEPTS, P.; VANDERLAYDEN, J. Beans (*Phaseolus spp.*) – model food legumes. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 252, p. 55-128, 2003.

CANO-CHAUCA, M.; RAMOS, A. M.; STRINGHETA, P. C.; MARQUES, J. A.; SILVA, P. I. Curvas de secagem e avaliação da atividade de água da banana passa. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, v. 22, n. 1, p. 121-132, 2004.

CARDADOR-MARTÍNEZ, A.; LOARCA-PIÑA, G.; OOMAH, B. D. Antioxidant Activity in Common Beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, n. 24, p. 6975-6980, 2002.

CARNEIRO, J. C. S.; MINIM, V. P. R.; SOUZA JÚNIOR, M. M.; CARNEIRO, J. E. S.; ARAÚJO, G. A. A. Perfil sensorial e aceitabilidade de cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 1, p. 18-24, 2005.

CARPENTER, K. J.; STEINKE, F. H.; CATIGNANI, G. L.; SWAISGOOD, H. E.; ALLERD, M. C.; MACDONALD, J. L.; SCHELSTRAETE, M. The estimation of ‘available lysine’ in human foods by three chemical procedures. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 39, n. 1, p. 129-135, 1989.

CARVALHO, M. S. **Produção de polpa de abóbora em pó pelo processo de secagem em leito de espuma**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas gerais, 2014.

CHANG, H. L.; SANG, H. O.; EUN, J. Y.; YOUNG, S. K. Effects of raw, cooked and germinated small black soybean powders on dietary fibre content and gastrointestinal functions. **Food Science and Biotechnology**, v. 15, n. 4, p. 635-638, 2006.

COELHO, C. M. M.; BELLATO, C. M.; SANTOS, J. C. P.; ORTEGA, E. M. M.; TSAI, S. M. Effect of phytate and storage conditions on the development of the hard-to-cook phenomenon in common beans. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 87, n. 7, p. 1237–1243, 2007.

COSTA, N. M. B. Minerais. In: COSTA, N. M.; PELUZIO, M. C. G. **Nutrição básica e metabolismo**. Viçosa: UFV, 2008. p. 263-359.

DHALIWAL, Y., AGGARWAL, R. Composition of fat in soybeans as affected by duration of germination and drying temperature. **Journal of Food Science and Technology**, v. 36, n. 3, p. 266–267, 1999.

DÍAZ, A. M.; CALDAS, G. V.; BLAIR, M. W. Concentrations of condensed tannins and anthocyanins in common bean seed coats. **Food Research International**, v. 43, n. 2, p. 595-601, 2010.

DÍAZ-BATALLA, L.; WIDHOLM, J. M.; FAHEY, G. C.; CASTAÑO-TOSTADO, E.; PAREDES-LÓPEZ, O. Chemical components with health implications in wild and cultivated Mexican common bean seeds (*Phaseolus vulgaris* L.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 54, n. 6, p. 2045-2052, 2006.

DILIS, V.; TRICHOPOULOU, A. Nutritional and health properties of pulses. **Mediterranean Journal of Nutrition and Metabolism**, v. 1, n. 3, p. 149-157, 2009.

DIONELLO, R. G.; BERBERT, P. A.; MOLINA, M. A. B. D.; PEREIRA, R. D. C.; VIANA, A. P.; CARLESSO, V. D. O. Secagem de fatias de abacaxi in natura e pré-desidratadas por imersão-impregnação: cinética e avaliação de modelos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 29, n. 1, p. 232-240, 2009.

DONKOR, O. N.; STOJANOVSKA, L.; GINN, P.; ASHTON, J.; VASILJEVIC, T. Germinated grains—Sources of bioactive compounds. **Food chemistry**, v. 135, n. 3, p. 950-959, 2012.

DUEÑAS, M.; SARMENTO, T.; AGUILERA, Y.; BENITEZ, V.; MOLLÁ, E.; ESTEBAN, R. M.; MARTÍN-CABREJAS, M. A. Impact of cooking and germination on phenolic composition and dietary fibre fractions in dark beans (*Phaseolus vulgaris* L.) and lentils (*Lens culinaris* L.). **LWT-Food Science and Technology**, v. 66, p. 72-78, 2016.

EGLI, D. B.; TEKRONY, D. M. Species differences in seed water status during seed maturation and germination. **Seed Science Research**, v. 7, n. 01, p. 3-12, 1997.

ELLIS, R.; KELSAY, J. L.; REYNOLDS, R. D.; MORRIS, E. R.; MOSER, P. B.; FRAZIER, C. W. Phytate: zinc and phytate X calcium: zinc milimolar ratios in self-selected diets of americans, Asian Indians, and Nepalese. **Journal of the American Dietetic Association**, v. 87, n. 8, p. 1043-1047, 1987.

EMBRAPA. **BRS Pontal: nova cultivar de feijoeiro comum de tipo de grão carioca com alto potencial produtivo**. Comunicado técnico, Brasil, 2003.

FELLOWS, P. J. **Food Processing Technology. Principles and Practice**, 3ª ed. New York: CRC Press, 2009.

FERREIRA, A. G.; BORGHETTI, F. **Germinação: do básico ao aplicado**. Porto Alegre: Artmed, 2004.

FOUST, A. S.; WENZEL, L. A.; CLUMP, C. W.; MAUS, L.; ANDERSEN, L. B. **Princípios das Operações Unitárias**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Ed. Guanabara Dois, 1982.

FRANCELLI, A. L. **Cultura do feijão: cursos de reciclagem em agricultura**. Piracicaba: FEALQ, 1987. 138p.

FREDLUND, K.; ISAKSSON, M.; ROSSANDER-HULTHÉN, L.; ALMGREN, A.; SANDBERG A. S. Absorption of zinc and retention of calcium: Dose-dependent inhibition by phytate. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, v. 20, n. 1, p. 49-57, 2006.

FROTA, A. B.; FREIRE FILHO, F. R.; CÔRREA, M. P. F. **Impactos socioeconômicos das cultivares de feijão-caupi na região Meio-Norte do Brasil**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2000. 26p. (Embrapa MeioNorte. Documentos, 52).

GARCÍA, P.; PRIMO, A. **Germinación de las semillas**. In: Fisiología y bioquímica vegetal, 1 Ed. España: MacGraw-Hill, p. 539, 1993.

GEANKOPLIS, C. **Transport processes and separation process principles (includes unit operations)**. Prentice Hall Press, 2003.

GEIL, P. B.; ANDERSON, J. W. Nutrition and health implications of dry beans: a review. **Journal of the American College of Nutrition**, Clearwater, v. 13, n. 6, p. 549-558, 1994.

GHAVIDEL, R. A.; PRAKASH, J. The impact of germination and dehulling on nutrients, antinutrients, in vitro iron and calcium bioavailability and in vitro starch and protein digestibility of some legume seeds. **Food Science and Technology**, v. 40, p. 1292-1299, 2007.

GOKHALE, S. V.; LELE, S. S. Dehydration of red beet root (*Beta vulgaris*) by hot air drying: process optimization and mathematical modeling. **Food Science and Biotechnology**, v. 20, n. 4, p. 955-964, 2011.

GOMES, J. C.; SILVA, C. O. da; COSTA, N. M. B.; PIROZI, M. R. Desenvolvimento e caracterização de farinhas de feijão. **Revista Ceres**, v. 53, n. 309, p. 548-558, 2006.

GONZALEZ, A. P. G. **Lugar de médico é na cozinha**. 2ª Ed, São Paulo: Alaúde, 2011.

GUZMÁN-MALDONADO, S. H.; CASTELLANOS, J.; MEJÍA, E. G. Relationship between theoretical and experimentally detected tannin content of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Food Chemistry**, v. 55, n. 4, p. 333-335, 1996.

HATAMIPOUR, M. S.; KAZEMI, H. H.; NOORALIVAND, A.; NOZARPOOR, A. Drying characteristics of six varieties of sweet potatoes in different dryers. **Food and Bioproducts Processing**, v. 85, n. 3, p. 171-177, 2007.

HEMALATHA, S.; PLATEL, K.; SRINIVASAN, K. Influence of germination and fermentation on bioaccessibility of zinc and iron from food grains. **European Journal of Clinical Nutrition**, v. 61, n. 3, p. 342–348, 2007.

HOTZ, C.; BROWN, K. H. **Assessment of the risk of zinc deficiency in populations and options for its control**. International nutrition foundation: for UNU, 2004.

HOTZ, C.; MCCLAFFERTY, B. From harvest to health: Challenges for developing biofortified staple foods and determining their impact on micronutrient status. **Food and Nutrition Bulletin**, v. 28, n. 2 (supplement), p. 271-279, 2007.

HOUSE, W. A.; ROSS, M.; WELCH, R. M.; BEEBE, S.; Cheng, Z. Potential for increasing the amounts of bioavailable zinc in dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.) through plant breeding. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 82, n. 13, p. 1452-1457, 2002.

HUNG, P. V.; MAEDA, T.; YAMAMOTO, S.; MORITA, N. Effects of germination on nutritional composition of waxy wheat. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 92, n. 3, p. 667-672, 2012.

HURRELL, R. F. Phytic acid degradation as a means of improving iron absorption. **International Journal of Vitamin and Nutrition Research**, v. 74, n. 6, p. 445-452, 2004.

HURRELL, R. F.; REDDY, M. B.; JUILLERAT, M. A.; COOK, J. D. Degradation of phytic acid in cereal porridges improves iron absorption by human subjects. **American Journal of Clinical Nutrition**, v. 77, n. 5, p. 1213-1219, 2003.

HUTCHINSON, D.; OTTEN, L. Thin-layer air drying of soybeans and white beans. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 18, n. 4, p. 507-522, 1983.

IBARZ, A.; BARBOSA-CANOVAS, G. V. **Unit operations in food engineering**. Crc Press, 2002.

JORGE, A. **Avaliação comparativa entre processos de secagem na produção de tomate em pó**. 2014. 70 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2014.

KHOKHAR, S.; CHAUHAN, B. M. Antinutritional factors in moth bean (*Vigna aconitifolia*): Varietal differences and effects of methods of domestics processing and cooking. **Journal Food Science**, v. 51, n. 3, p. 591-594, 1986.

KOEHLER, P.; HARTMANN, G.; WIESER, H.; RYCHLIK, M. Changes of folates, dietary fiber, and proteins in wheat as affected by germination. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 55, n. 12, p. 4678–4683, 2007.

LAJOLO, F. M.; GENOVESE, M. I.; MENEZES, E. W. Qualidade nutricional. In: ARAÚJO, R. S.; AGUSTÍNRAVA, C.; STONE, L. F.; ZIMMERMANN, M. J. de O. **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba, p. 71-99, 1996.

LESTIENNE, I.; ICARD-VERNIÈRE, C.; MOUQUET, C.; PICQ, C.; TRÈCHE, S. Effects of soaking whole cereal and legume seeds on iron, zinc and phytate contents. **Food chemistry**, v. 89, n. 3, p. 421-425. 2005.

LEVY-COSTA, R. B.; SICHIERI, R.; PONTES, S. N.; MONTEIRO, C. A. Disponibilidade domiciliar de alimentos no Brasil: distribuição e evolução (1974-2003). **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v. 39, n. 4, p. 530-540, 2005.

LÓPEZ, A.; EL-NAGGAR, T.; DUEÑAS, M.; ORTEGA, T.; ESTRELLA, I.; HERNÁNDEZ, T.; CARRETERO, M. E. Effect of cooking and germination on phenolic composition and biological properties of dark beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Food chemistry**, v. 138, n. 1, p. 547-555, 2013.

MA, G.; LI, Y.; JIN, Y.; ZHAI, F.; KOK, F.J.; YANG, X. Phytate intake and molar ratios of phytate to zinc, iron and calcium in the diets of people in China. **European Journal of Clinical Nutrition**, v. 61, n. 3, p. 368-374, 2007.

MARERO, L. M.; PAYUMO, E. M.; AGUINALDO, A. R.; HOMMA, S. Maltooligosaccharide composition of flours, weaning foods, and gruels prepared from germinated rice, corn, mungbean, and cowpea. **Journal of Nutritional Science and Vitaminology**, v. 36, n. 1, p. 55-64, 1990.

MARTINAZZO, A. P.; CORRÊA, P. C.; RESENDE, O.; MELO, E. D. C. Análise e descrição matemática da cinética de secagem de folhas de capim-limão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 03, p. 301-306, 2007.

MARTÍN-CABREJAS, M. A.; AGUILERA, Y.; PEDROSA, M. M.; CUADRADO, C.; HERNÁNDEZ, T.; DÍAZ, S.; ESTEBAN, R. M. The impact of dehydration process on antinutrients and protein digestibility of some legume flours. **Food Chemistry**, v. 114, n. 3, p. 1063-1068, 2009.

MARTÍN-CABREJAS, M. A.; DÍAZ, M. F.; AGUILERA, Y.; BENÍTEZ, V.; MOLLÁ, E.; ESTEBAN, R. M. Influence of germination on the soluble carbohydrates and dietary fibre fractions in non-conventional legumes. **Food Chemistry**, v. 107, n. 3, p. 1045-1052, 2008.

MARTINEZ, P. C. C. **Efeito da radiação gama e do processo de germinação sobre as características nutricionais do feijão**. 2011. 218 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Escola Superior de Agricultura – “Luiz de Queiroz”, Universidade Federal de São Paulo, Piracicaba, 2011.

MARTINEZ-DOMINGUEZ, B.; IBAÑEZ, M. B.; RINCÓN, F. Acido fítico: aspectos nutricionales e implicaciones analíticas. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, v. 52, n. 3, p. 219-231, 2002.

MESQUITA, R. F.; CORRÊA, A. D.; ABREU, C. M. P. de; LIMA, R. A. Z.; ABREU, A. de F. B. Linhagens de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.): composição química e

digestibilidade proteica. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 4, p. 1114-1121, 2007.

MINGUITA, A. P. S.; CARVALHO, J. L. V.; SANTOS, J. O.; SILVA, E. S.; OLIVEIRA, E. M. Teor de ferro e zinco em massas alimentícias a base de mistura de farinha de trigo, farinha de arroz e farinha de feijão biofortificadas. **IV Simpósio de Ciência e Tecnologia de Alimentos**. João Pessoa, Paraíba, 2012.

MONTOYA, C. A.; LALLÈS, J. P.; BEEBE, S.; LATERME, P. Phaseolin diversity as a possible strategy to improve nutritional value of common beans (*Phaseolus vulgaris*). **Food Research International**, Essex, v. 43, n. 2, p. 443-449, 2010.

MOONGNGARM, A.; SAETUNG, N. Comparison of chemical compositions and bioactive compounds of germinated rough rice and brown rice. **Food Chemistry**, v. 122, n. 3, p. 782–788, 2010.

NUTTI, M. R. A história dos projetos HarvestPlus, AgroSalud e BioFORT no Brasil. **IV Reunião de Biofortificação**, Teresina– Piauí, 2011.

OLIVEIRA, L. O.; RETAMAL, C.A.; CUNHA, M. DA; OLIVEIRA, A. E. A.; PINTO, M. S. T.; FERNANDES, K. V. S. Mobilization of reserve proteins and activities of cysteine peptidases during germinative and post-germinative events of cowpea seeds. **Protein and Peptide Letters**, v. 19, n. 12, p. 1281–1288. 2012.

PARDESHI, I. L.; ARORA, S.; BORKER, P. A. Thin-layer drying of green peas and selection of a suitable thin-layer drying model. **Drying Technology**, v. 27, n. 2, p. 288-295, 2009.

PARK, K. J.; YADO, M. K. M.; BROD, F. P. R. Estudo de secagem de pêra bartlett (*Pyrus* sp.) em fatias. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 21, n. 3, p. 288-292, 2001.

PIN, K. Y.; CHUAH, T. G.; ABDULL-RASHIH, A.; LAW, C. L.; RASADAH, M. A.; CHOONG, T. S. Y. Drying of betel leaves (*Piper betle* L.): quality and drying kinetics. **Drying Technology**, v. 27, n. 1, p. 149-155, 2009.

PRAZERES, J. N. dos; FERREIRA, C. V.; AOYAMA, H. Acid phosphatase activities during the germination of *Glycine Max* seeds. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 42, n. 1, p. 15-20, 2004.

PROM-U-THAI, C.; HUANG, L. B.; GLAHN, R. P; WELCH, R. M.; FUKAI, S.; B. RERKASEM; S. Iron (Fe) bioavailability and the distribution of anti-Fe nutrition biochemicals in the unpolished, polished grain and bran fraction of five rice genotypes. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 86, n. 8, p.1209–1215, 2006.

RAHMAN, M. S.; AL-SHAMSI, Q. H.; BENGTSSON, G. B.; SABLANI, S. S.; AL-ALAWI, A. Drying kinetics and allicin potential in garlic slices during diferente methods of drying. **Drying Technology**, v. 27, n. 3, p. 467-477. 2009.

RAMIREZ-CÁRDENAS, L.; LEONEL A. J.; COSTA, N. M. B. Efeito do processamento doméstico sobre o teor de nutrientes e de fatores antinutricionais de diferentes cultivares de feijão comum. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n.

1, p. 200-213, 2008.

REDDY, N. R. **Occurrence, distribution, content, and dietary intake of phytate.** In: REDDY, N. R. SATHE, S. K. (Ed). Food Phytates Florida: CRC Press, 2002, p. 25-51.

REISCHE, D. W.; LILLARD, D. A.; EITENMILLER, R. R. Antioxidants. In: AKOH, C. C.; MIN, D. B. **Food lipids: chemistry, nutrition, and biotechnology**, 2.ed., New York: Marcel Dekker, p. 489-516, 2002.

RIBEIRO, N. D. Potencial de aumento da qualidade nutricional do feijão por melhoramento genético. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 31, (suplemento 1), p. 1367-1376, 2010.

RIOS, A. O.; ABREU, C. M. P.; CORRÊA, A. D. Efeito da estocagem e das condições de colheita sobre algumas propriedades físicas, químicas e nutricionais de três cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 23, supl. 0, p. 39-45, 2003.

ROSTON, A. J. **Feijão**. Campinas: CATTI, 1990. 18 p. (Boletim Técnico, 1990).

SAHA, P. R.; WEAVER, C. M.; MASON, A. C. Mineral bioavailability in rats from intrinsically labeled whole wheat flour of various phytate levels. **Journal of Agricultural Food Chemistry**, n. 42, n. 11, p. 2531–2535, 1994.

SANGRONIS, E.; MACHADO, C. J. Influence of germination on the nutritional quality of *Phaseolus vulgaris* and *Cajanus cajan*. **LWT-Food Science and Technology**, v. 40, n. 1, p. 116-120, 2007.

SANGRONIS, E.; RODRÍGUEZ, M.; CAVA, R.; TORRES, A. Protein quality of germinated *Phaseolus vulgaris*. **European Food Research and Technology**, v. 222, n. 1-2, p. 144-148, 2006.

SATHE, S. K. Dry Bean Protein Functionality. **Critical Reviews in Biotechnology**, v. 22, n. 2, p. 175-223, 2002.

SATTAR, A.; DURRANI, S. K.; MAHMOOD, F.; AHMAD, A.; KHAN, I. Effect of soaking and germination temperatures on selected nutrients and antinutrients in mungbean. **Food Chemistry**, v. 34, n. 2, p. 111–120, 1989.

SHAHIDI, F. Beneficial health effects and drawbacks of antinutrients. In: SHAIDI, F. (Ed.). **Antinutrients and Phytochemicals in Food**. Washington: Developed from a symposium sponsored by the Division of Agricultural and Food Chemistry. American Society. 1997.

SHIMELIS, E. A.; RAKSHIT, S. K. Effect of processing on antinutrients and in vitro protein digestibility of kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.) varieties grown in East Africa. **Food Chemistry**, v. 103, n. 1, p. 161-172, 2007.

SILVA, M. R.; SILVA, A. A. P. da. Aspectos nutricionais de fitatos e taninos. **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 12, n. 1, p. 5-19, 1999.

SIQUEIRA, E. M. de A.; MENDES, J. F. R.; ARRUDA, S. F. Biodisponibilidade de minerais em refeições vegetarianas e onívoras servidas em restaurante universitário. **Revista de Nutrição**, v. 20 n. 3, p. 229-237, 2007.

SOUSA, K. A. de; RESENDE, O.; CHAVES, T. H.; COSTA, L. M. Cinética de secagem do nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.). **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 4, p. 883-892, 2011.

SWIECA, M.; GAWLIK-DZIKI, U.; KOWALCZYK, D.; ZŁOTEK, U. Impact of germination time and type of illumination on the antioxidant compounds and antioxidant capacity of *Lens culinaris* sprouts. **Scientia Horticulturae**, v. 140, n. 1, p. 87-95, 2012.

TACO. Tabela Brasileira de Composicao de Alimentos. 4. ed. Ampliada e Revisada, Campinas: Nepa/Unicamp, 2012, 164 p. Disponível em: <http://www.unicamp.br/nepa/taco/contar/taco_4_edicao_ampliada_e_revisada>. Acesso em: 06 agosto de 2016.

TIWARI, U.; CUMMINS, E. **Functional and physicochemical properties of legume fibers**. In: Pulse foods: processing, quality and technological applications. Academic press, 2011, p. 121-156

TOLEDO, T. C. F. de; CANNIATTI-BRAZACA, S. G. Avaliação química e nutricional do feijão carioca (*Phaseolus vulgaris* L.) cozido por diferentes métodos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 2, p. 355-360, 2008.

TONON, R. V.; BARONI, A. F.; HUBINGER, M. D. Study of osmotic dehydration of tomato in ternary solutions through response surface methodology. **Food Science and Technology**, v. 26, n. 3, p. 715-723, 2006.

TRUCOM, C. De bem com a natureza: cuidando do seu filho com a alimentação viva. São Paulo: Ed Alaúde, 2012.

UMETA, M.; WEST, C. E.; FUFA, H. Content of zinc, iron, calcium and their absorption inhibitors in foods commonly consumed in Ethiopia. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 18, n. 8, p. 803-817, 2005.

VALDÉS, S. T. **O efeito de genótipos de feijão e das formas usuais de preparo sobre a atividade antioxidante e a composição nutricional**. 2010. 103p. Dissertação (Mestrado em Nutrição), Programa de Pós-Graduação em Nutrição, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

VENDERSTOEP, J. Effect of germination on the nutritive value of legumes. **Food Technology**, v. 43, p. 83–85, 1981.

VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR, T. J. de; BORÉM, A. **Feijão**. Ed. UFV, Viçosa. 600p. 2006.

VILAS BOAS, E. V. B.; BARCELOS, M. F. P.; LIMA, M. A. C. Tempo de germinação e características físicas, químicas e sensoriais dos brotos de soja e de milho nas formas isoladas e combinadas. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 26, n. 1, p. 148-156, 2002.

VILELA, C. A. A.; ARTUR, P. O. Secagem do açafrão (*Curcuma longa* L.) em diferentes cortes geométricos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 2, p. 387-394, 2008.

VILLAVICENCIO, A. L. C. H.; MANCINI-FILHO, J.; DELINCÉE, H.; GREINER, R. Effect of irradiation on anti-nutrients (total phenolics, tannins and phytate) in Brazilian beans. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 57, n. 3, p. 289-293, 2000.

WANDER, A. E.; SILVA, O. F.; BARRIGOSI, J. A. F.; FERREIRA, C. M.; LANNA, A. C.; MELO, L. C.; NICOLI, C. M. L.; SOARES, D. M.; OLIVEIRA, M. G. C.; SANTIAGO, C. M. Impactos econômicos, sociais e ambientais da cultivar de feijoeiro comum BRS Pontal na terceira safra no Brasil Central (2008 - 2010). **IV Reunião de Biofortificação**. Teresina, Piauí. 2011.

WANDER, ALCIDO ELENOR. Perspectivas de mercado interno e externo para o feijão. **Congresso Nacional de Pesquisa de Feijão**, v. 8, p. 892-895, 2005.

WANG, N.; DAUN, J. K. Effects of variety and crude protein content on nutrients and anti-nutrients in lentils (*Lens culinaris*). **Food Chemistry**, v. 95, n. 3, p. 493-502, 2006.

WAUGHON, T. G. M.; PENA, R. da S. Modelagem da secagem em camada delgada da fibra residual do abacaxi. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, v. 26, n. 2, p. 297-306, 2008.

WEI, Y.; SHOHAG, M. J. I.; YING, F.; YANG, X.; WU, C.; WANG, Y. Effect of ferrous sulfate fortification in germinated brown rice on seed iron concentration and bioavailability. **Food chemistry**, v. 138, n. 2-3, p. 1952-1958, 2013.

WELCH, R. M.; HOUSE W. A.; BEEBE S.; CHENG Z. Genetic selection for enhanced bioavailable levels of iron in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seeds. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 48, n. 8, p. 3576-80, 2000.

WONGSIRI, S.; OHSHIMA, T.; DUANGMAL, K. Chemical composition, amino acid profile and antioxidant activities of germinated mung beans (*Vigna radiata*). **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 39, n. 6, p. 1956-1964, 2015.

World Health Organization (WHO). Trace elements in human nutrition and health. Geneva; 1996.

XU, B. J.; YUAN, S. H.; CHANG, S. K. C. Comparative analyses of phenolic composition, antioxidant capacity, and color of cool season legumes and other selected food legumes. **Journal of Food Science**, v. 72, n. 2, p. 167-177 (supplement), 2007.

YOKOYAMA, L. P. **Tendências de mercado e alternativas de comercialização do feijão**. Santo Antonio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, Comunicado Técnico, n. 43, p. 3, 2002.

YUCEL, U.; ALPAS, H.; BAYINDIRLI, A. Evaluation of high pressure pretreatment for enhancing the drying rates of carrot, apple, and green bean. **Journal of Food Engineering**, v. 98, n. 2, p. 266-272, 2010.

ZHU, A.; JIANG, F. Modeling of mass transfer performance of hot-air drying of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) slices. **Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly**, v. 20, n. 2, p. 171-181, 2014.

CAPÍTULO I

Cinética de secagem e caracterização físico-química de farinhas de feijões (*Phaseolus vulgaris* L.) biofortificado e não biofortificado, cozido e germinado

Cinética de secagem e caracterização físico-química de farinhas de feijões (*Phaseolus vulgaris* L.) biofortificado e não biofortificado, cozido e germinado

RESUMO

O feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma fonte rica de nutrientes e é um dos alimentos mais tradicionais na dieta dos brasileiros, sendo uma das principais fontes de proteínas, fibras e minerais. Além disso, possuem fatores antinutricionais os quais limitam a digestibilidade de minerais e proteínas. Por isso, é necessário o processamento do feijão para melhorar sua digestibilidade. Tradicionalmente, o feijão é consumido cozido, porém a germinação também é uma forma de consumo simples e econômica para a melhoria da qualidade nutricional de sementes e vem sendo muito utilizada. Outra estratégia utilizada para melhorar a qualidade nutricional dos alimentos, é a biofortificação por meio do melhoramento genético e o feijão tem se mostrado viável para este fim. Entretanto, sabe-se que o consumo de feijão no Brasil está diminuindo nos últimos anos devido à modernização e consequentes mudanças nos hábitos alimentares da população. Frente a isso, a secagem de alimentos é um método de conservação que surge como meio de agregar valor comercial a produtos. Portanto, este trabalho teve por objetivo avaliar a influência das temperaturas do ar de secagem na cinética de desidratação de feijões biofortificado e não biofortificado, submetidos aos tratamentos de cozimento e germinação, bem como nas características nutricionais das farinhas obtidas. Os feijões utilizados neste estudo foram da variedade carioca, cultivar BRS Estilo e BRS Pontal. Ambos os feijões sofreram os tratamentos de cozimento e germinação (48 horas) e, posteriormente, foram desidratados às temperaturas de 40, 50, 55, 60 e 70 °C para avaliação da influência da temperatura de secagem sobre os parâmetros da cinética de secagem e físico-químicos. Três modelos matemáticos semiempíricos foram estudados mediante regressão não linear, dentre eles os modelos de Lewis, Page e Henderson & Pabis (H&P). O modelo de Page foi o que melhor se ajustou à secagem dos feijões cozido e germinado. Com os resultados obtidos pôde-se estimar o tempo de secagem, que foi menor com o aumento da temperatura de secagem e maior para os feijões germinados. A temperatura do ar de secagem influenciou de forma significativa somente o teor de umidade e a atividade de água das farinhas e feijão, que, por sua vez, foram menores à medida que se aumentou a temperatura de secagem, assim como esperado. Sobre as demais variáveis não houve qualquer influência significativa da temperatura.

Palavras-chave: Secagem, desidratação, farinha de feijão, germinação; biofortificação.

1. INTRODUÇÃO

O feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é um dos alimentos mais tradicionais na dieta alimentar dos brasileiros (GUZMÁN-MALDONADO *et al.*, 1996; RAMÍREZ-CÁRDENAS *et al.*, 2008). O Brasil é o terceiro maior produtor e o maior consumidor de feijão do mundo com o consumo médio anual de cerca de 3,5 milhões de toneladas (BRASIL, 2015).

É um alimento muito rico nutricionalmente, fornece nutrientes essenciais como proteínas, carboidratos, fibras, vitaminas e minerais como ferro, cálcio, zinco, cobre e manganês (GUZMÁN-MALDONADO *et al.*, 1996; RAMÍREZ-CÁRDENAS *et al.*, 2008). O feijão é uma das principais fontes vegetais de proteínas e ferro (não heme) da população, principalmente na América Latina e África (LIN *et al.*, 2008), contribuindo assim, para uma alimentação mais saudável (BRIGIDE, 2002).

O feijão comum vem sendo estudado em programas de melhoramento genético e tem se mostrado viável para a biofortificação uma vez que possui variabilidade genética em relação aos minerais ferro e zinco (WELCH *et al.*, 2000), sendo, portanto, uma alternativa tecnológica com amplo alcance social (WANDER *et al.*, 2011), uma vez que a biofortificação visa a melhoria da qualidade nutricional de alimentos consideradas base da alimentação (BODNAR *et al.*, 2013).

Apesar de tais vantagens, o feijão apresenta algumas características que podem limitar seu valor nutricional, como a presença de fatores antinutricionais. Os principais encontrados nos feijões são taninos, ácido fítico, inibidor de tripsina e lectinas (SCHOFIELD *et al.*, 2001; BRIGIDE, 2002). Porém, métodos de processamento adequados como o descascamento, a maceração, o cozimento e a germinação melhoram a qualidade nutricional do feijão uma vez que contribuem para a eliminação desses compostos indesejáveis (KHOKHAR; CHAUHAN, 1986; BARAMPAMA; SIMARD, 1994; BARAMPAMA; SIMARD, 1995; RAMÍREZ-CÁRDENAS *et al.*, 2008; VALDÉS, 2010; MARTINEZ, 2011).

Segundo a última Pesquisas de Orçamento Familiar (POF) o consumo de feijão está diminuindo no Brasil. Em 2002-2003 o consumo *per capita* foi de 12,39 kg/ano (BRASIL, 2004), já em 2008-2009 reduziu para 9,12 kg/*per capita*/ano (BRASIL, 2010). Alguns fatores determinantes para essa redução seriam a urbanização bem como alterações de hábitos alimentares e estilo de vida da

população (LEVY-COSTA *et al.*, 2005). Desta forma, o feijão *in natura* vem se tornando menos competitivo visto que geralmente é adquirido na forma de grãos secos e crus, demandando um longo período de tempo para o preparo, tornando-o pouco competitivo em relação aos produtos semiprontos ou prontos para o consumo (CARNEIRO, 2005). Por isso, a indústria alimentícia vem desenvolvendo produtos derivados de feijão, como farinhas e produtos congelados visando aumentar sua competitividade (GOMES *et al.*, 2006).

A secagem ou desidratação é um dos processos para a produção de farinhas (GOMES *et al.*, 2006). É um método de conservação que garante maior durabilidade dos alimentos, sendo usada como uma ferramenta para agregar valor ao produto desidratado (GOKHALE; LELE, 2011), uma vez que resulta em redução de custos de transporte e armazenagem dos produtos secos. Um dos aspectos mais importantes da secagem é prever o comportamento do processo de modo a aumentar a eficiência, visto que os processos de secagem possuem custo elevado o que normalmente inviabiliza a industrialização (YUCEL *et al.*, 2010).

O estudo da cinética de secagem se baseia na elaboração de curvas de secagem assim como a proposição de modelos matemáticos para descrever o processo. A cinética de secagem tem como objetivo o conhecimento do comportamento do material no decorrer do processo bem como a predição do tempo necessário para tal e seus custos operacionais (CARVALHO, 2014). Existem na literatura modelos matemáticos, teóricos, semiempíricos e empíricos que podem ser empregados (WAUGHON; PENA, 2008). Os modelos semiempíricos baseiam-se na Lei de Newton para resfriamento aplicado à transferência de massa, presumindo-se que as condições sejam isotérmicas e que a resistência à transferência de água se restrinja à superfície do produto (BROOKER *et al.*, 1992). Portanto existe a necessidade de otimização do processo para a redução do tempo e energia envolvidos na secagem, de forma a preservar a qualidade do alimento desidratado em termos de nutrientes, propriedades de reidratação e estabilidade no armazenamento (GOKHALE; LELE, 2011).

1.1. Objetivos

O presente trabalho propõe uma alternativa para o processamento de feijão através da elaboração de farinhas tendo como objetivo a avaliação da influência das temperaturas do ar de secagem (40, 50, 55, 60 e 70 °C) na cinética de desidratação de feijões biofortificado e não biofortificado, submetidos aos processamentos de cozimento e germinação, bem como avaliar o efeito da temperatura sobre as características nutricionais das farinhas obtidas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado nos laboratórios de Operações Unitárias e Química de Alimentos do Departamento de Engenharia de Alimentos, nos laboratórios de Fisiologia e Nutrição Mineral de Plantas e de Solos do Departamento de Produção Vegetal e no laboratório de Técnica Dietética do Departamento de Farmácia e Nutrição do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias e do Centro de Ciências Exatas, Naturais e da Saúde, da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES).

2.1. Planejamento experimental e análise estatística dos dados

Para a avaliação da influência da temperatura no tempo de secagem, o experimento foi realizado com cinco níveis para o fator temperatura (40, 50, 55, 60 e 70 °C), com três repetições para cada tratamento. Para descrever a cinética de secagem foi realizada análise de regressão não linear para ajustar três modelos semiempíricos para cada nível de temperatura, quais sejam: Page, Lewis e Handerson & Pabis.

Foi realizada Análise de Variância (ANOVA) a 5% de significância, utilizando o programa Statística versão 10, para verificar se o efeito da temperatura foi

significativo nos parâmetros físico-químicos das farinhas obtidas, seguido por Análise de Regressão (SigmaPlot versão 11) em caso afirmativo.

2.2. Matéria-prima e preparo das amostras

A matéria-prima utilizada foi o feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.), variedade carioca, cultivares BRS Pontal (biofortificado) e BRS Estilo (não biofortificado), provenientes do programa de melhoramento genético e rede de parceiros de desenvolvimento de cultivares de feijoeiro comum, liderada pela Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias (EMBRAPA - Arroz e Feijão), localizada em Goiânia-GO. Os grãos de feijão foram selecionados manualmente a fim de eliminar sujidades bem como qualquer tipo de contaminantes físicos, selecionando apenas os grãos íntegros.

Cozimento

Para o processo de cozimento, os grãos foram lavados em água corrente e macerados (1:3 p/v) durante 8 (oito) horas em água ultrapura. Após este período foram drenados e, posteriormente adicionados de água ultrapura na proporção de 1:2 p/v para o processo de cocção, realizado de forma caseira em panelas de pressão. Ao iniciar a pressão, os grãos foram cozidos por um período de 20 minutos em fogo baixo. A partir de testes preliminares, foi definida a metodologia para o cozimento dos feijões, garantindo assim, o cozimento dos grãos sem que sobrasse água residual. Todo o processo foi realizado com três repetições.

Germinação

Os grãos foram lavados em água corrente e, posteriormente macerados em água ultrapura por 8 (oito) horas, período este que os grãos ficam imersos até se tornarem túrgidos, ou seja, despertar do grão de sua fase de latência, iniciando o processo de germinação. Após esse período foram drenados, retirando-se o excesso de água para então iniciar o período de germinação no ar (GONZALEZ,

2011; TRUCOM, 2012). Então, os feijões foram dispostos em bandejas de polietileno e levados à BOD com temperatura controlada (28 ± 2 °C) por um período de 48 horas. Os grãos foram umedecidos 2 vezes ao dia, no período da manhã e no final da tarde, de modo que a umidade relativa se mantivesse o mais próximo de 100%, para garantir assim, altas taxas de germinação (BERNI; CANNIATTI-BRAZACA, 2007; GONZALEZ, 2011; TRUCOM, 2012). Todo o processo foi realizado com três repetições.



Figura 3 – Fluxograma do preparo das amostras.

2.3. Secagem e obtenção da farinha

A secagem do feijão foi realizada por meio do método convencional em secadores convectivos (POLIDRYER[®]), sendo utilizadas cinco temperaturas do ar de secagem: 40, 50, 55, 60, e 70 °C. Amostras de 200 gramas de feijão dos respectivos

tratamentos (cozido e germinado) foram dispostas em bandejas de aço inoxidável perfuradas. Em seguida, foram imediatamente colocadas no secador.

Durante a secagem as bandejas foram pesadas no tempo zero, de 15 em 15 minutos na primeira hora, de 30 em 30 minutos na segunda hora e de hora em hora a partir da terceira hora até atingir massa constante. As bandejas foram giradas 180° a cada hora mudando-se a disposição das mesmas dentro do secador para que não ocorresse interferência da posição das bandejas durante o processamento, visando assim à homogeneidade da secagem. Ao final da secagem, os feijões foram acondicionados em sacos de polietileno, selados e, armazenados sob congelamento (-18 °C), ao abrigo da luz e umidade, até sua moagem em moinho de facas Tipo Willey (Marconi®) para o preparo das farinhas.

2.4. Estudo da cinética de secagem e influência da temperatura no tempo de secagem

Para ajuste das cinéticas de secagem foram utilizados os modelos semiempíricos de Page, Lewis e Handerson e Pabis (Tabela 2) por análise de regressão não linear.

Tabela 2 - Modelos matemáticos usados para modelagem da secagem de feijões.

Designação dos Modelos	Modelos	
Lewis	$RU = e^{(-kt)}$	(1)
Page	$RU = e^{(-kt)^n}$	(2)
Henderson e Pabis	$RU = Ce^{(-kt)}$	(3)
Razão de Umidade	$RU = \frac{X_t - X_e}{X_0 - X_e}$	(4)

Em que k , n e C são parâmetros dos modelos, RU é a razão de umidade, X_t é o teor de água, em base seca, em qualquer instante de tempo, X_e é o teor de água na condição de equilíbrio, X_0 é o teor de água inicial e t é o tempo de secagem em minutos.

Os ajustes dos parâmetros dos modelos foram feitos por meio da minimização da soma de quadrados dos desvios, usando regressão não linear. Os modelos ajustados foram comparados pelo coeficiente de determinação ajustado (R_{adj}^2), definido pela Eq.5, e pelo erro padrão da regressão (S), definido pela Eq.6:

$$R_{adj}^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (RU_{exp,i} - RU_{prev,i})^2}{\sum_{i=1}^N (RU_{exp,i} - \overline{RU})^2} \frac{N-1}{N-p} \quad (5)$$

$$S = \left(\frac{\sum_{i=1}^N (RU_{exp,i} - RU_{prev,i})^2}{N-p} \right)^{1/2} \quad (6)$$

Em que:

$RU_{exp,i}$ = valores experimentais da razão de umidade para a i -ésima observação;

$RU_{prev,i}$ = valores previstos da razão de umidade para a i -ésima observação;

\overline{RU} = valor médio da razão de umidade calculado a partir dos valores experimentais

N = número de observações e

p = o número de parâmetros no modelo.

Foi considerado o melhor modelo aquele com os maiores valores de coeficiente de determinação ajustado e os menores valores de erro padrão da regressão.

Após ser escolhido o melhor modelo, foi estimado o tempo de secagem como sendo aquele em que a razão de umidade atingisse um valor suficientemente pequeno, como por exemplo, $RU = 0,01$ uma vez que o valor 0 (zero) não pode ser considerado, pois representa um valor assintótico.

2.5. Caracterização Físico-Química

2.5.1. Composição Centesimal

A umidade foi determinada em estufa (Nova Ética[®]) a 105 °C até peso constante, de acordo com procedimento padrão descrito pela AOAC (2005).

O teor total de nitrogênio foi quantificado pelo método de Kjeldahl modificado, baseado na metodologia proposta pela AOAC (2005). O teor de proteína foi calculado multiplicando o resultado encontrado de nitrogênio pelo fator 6,25.

O teor de lipídeos foi determinado por extração em Soxhlet (Marconi[®]) de acordo com o método descrito pela AOAC (2005), utilizando éter de petróleo como o solvente extrator.

O teor de cinzas foi determinado por incineração em mufla (Stecno[®]) a 550 °C, conforme o método descrito pela AOAC (2005).

Carboidrato utilizável foi calculado por diferença, subtraindo-se a soma dos teores de umidade, cinzas, lipídeos, proteínas e fibras de 100, conforme metodologia descrita pela Resolução RDC nº 360, de 23 de dezembro de 2003 da ANVISA (BRASIL, 2003).

O teor de fibras solúveis e insolúveis foi quantificado baseado na metodologia descrita por Asp e colaboradores (1983), utilizando-se álcool etílico e acetona como solventes.

2.5.2. Atividade de Água

A determinação da atividade de água (A_w) das farinhas foi realizada por meio de higrômetro eletrônico R tonic[®] (HygroLab) conforme descrito por Ditchfield (2000).

2.5.3. Minerais

O teor de ferro e zinco dos feijões foi determinado de acordo com o método 3051A da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2007). Pesou-se 0,5 gramas de amostra em tubo digestor (MARS Express), onde foi adicionado 10 mL de ácido nítrico P.A. (SIGMA[®]), que em seguida foi levado a uma pré-digestão com tubos abertos em capela, durante 15 minutos. Posteriormente, as amostras foram digeridas em micro-ondas MARS 6 (CEM Corporation[®]), envolvendo três passos:

- Rampa de temperatura de 25 minutos até 210 °C;
- Manutenção da temperatura por 15 minutos a 210 °C e;
- Descida de 15 minutos até temperatura ambiente.

Após a digestão, as amostras foram transferidas para balão volumétrico de 25 mL e o volume completado com água ultrapura. As amostras foram lidas em Espectrofotômetro de Absorção Atômica com chama (Thermo Scientific[®], modelo ICE 3000 Series).

2.5.4. Taninos

Os taninos foram analisados segundo metodologia descrita por Price e colaboradores (1980), através de extração com metanol e posterior reação colorimétrica com solução de vanilina e leitura a 500 nm em espectrofotômetro (BEL SP 2000 UV), obtendo-se assim a concentração de taninos a partir de uma curva padrão de catequina, sendo os resultados expressos em mg de catequina/g de feijão.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Avaliação do efeito da temperatura do ar de secagem sobre a cinética de secagem dos feijões cozido e germinado

Para cada temperatura de secagem, a razão de umidade foi calculada a partir das massas das bandejas registradas ao longo do tempo, conforme a equação a seguir:

$$RU = \frac{X_t - X_e}{X_o - X_e} = \frac{M_t - M_e}{M_o - M_e} \quad (7)$$

Em que,

M_t = Massa do produto na bandeja no tempo t ;

M_e = Massa do produto na bandeja no equilíbrio;

M_o = Massa do produto na bandeja no tempo inicial (tempo zero);

A partir dos resultados experimentais de razão de umidade ao longo do tempo de secagem, foram ajustados os seguintes modelos de cinética de secagem: Lewis (Eq. 1), Page (Eq. 2) e Henderson & Pabis (Eq. 3).

As Tabelas 3 e 4 apresentam os valores dos parâmetros ajustados dos modelos de Lewis, Page e Henderson & Pabis, do coeficiente de determinação ajustado (R_{adj}^2) e do erro padrão da regressão (S) para cada modelo em todas as temperaturas testadas para os feijões Estilo cozido (EC) e Estilo germinado (EG), respectivamente. Assim como nas Tabelas 5 e 6, para os feijões Pontal cozido (PC) e Pontal germinado (PG), respectivamente.

Tabela 3 - Parâmetros estimados, coeficiente de determinação ajustado e erro padrão da regressão para os modelos de Lewis, Page e de Henderson e Pabis (H&P) em diferentes temperaturas do ar de secagem do feijão Estilo Cozido (EC).

Temperatura	Modelo	k	a ou n	R_{adj}^2	S
40 °C	Lewis	0,1630	-	0,9923	0,0318
	Page	0,1231	1,1660	0,9964	0,0219
	H&P	0,1664	1,0145	0,9923	0,0320
50 °C	Lewis	0,3013	-	0,9934	0,0303
	Page	0,2475	1,1557	0,9977	0,0181
	H&P	0,3105	1,0245	0,9938	0,0294
55 °C	Lewis	0,3172	-	0,9852	0,0468
	Page	0,2327	1,2588	0,9957	0,0252
	H&P	0,3337	1,0422	0,9867	0,0444
60 °C	Lewis	0,3748	-	0,9848	0,0478
	Page	0,2840	1,2827	0,9966	0,0228
	H&P	0,3981	1,0496	0,9870	0,0443
70 °C	Lewis	0,4900	-	0,9904	0,0365
	Page	0,4397	1,1580	0,9946	0,0275
	H&P	0,5022	1,0192	0,9902	0,0370

Tabela 4 - Parâmetros estimados, coeficiente de determinação ajustado e erro padrão da regressão para os modelos de Lewis, Page e de Henderson e Pabis (H&P) em diferentes temperaturas do ar de secagem do feijão Estilo Germinado (EG).

Temperatura	Modelo	k	a ou n	R_{adj}^2	S
40 °C	Lewis	0,1883	-	0,9986	0,0135
	Page	0,1760	1,0399	0,9989	0,0121
	H&P	0,1900	1,0068	0,9986	0,0134
50 °C	Lewis	0,2948	-	0,9988	0,0124
	Page	0,2766	1,0500	0,9993	0,0095
	H&P	0,2985	1,0097	0,9989	0,0121
55 °C	Lewis	0,3620	-	0,9988	0,0125
	Page	0,3504	1,0315	0,9990	0,0116
	H&P	0,3635	1,0031	0,9987	0,0128
60 °C	Lewis	0,4215	-	0,9952	0,0257
	Page	0,3829	1,1138	0,9974	0,0187
	H&P	0,4303	1,0158	0,9951	0,0257
70 °C	Lewis	0,5277	-	0,9982	0,0152
	Page	0,5242	1,0114	0,9983	0,0151
	H&P	0,5213	0,9911	0,9981	0,0154

Tabela 5 - Parâmetros estimados, coeficiente de determinação ajustado e erro padrão da regressão para os modelos de Lewis, Page e de Henderson e Pabis (H&P) em diferentes temperaturas do ar de secagem do feijão Pontal Cozido (PC).

Temperatura	Modelo	<i>k</i>	<i>a</i> ou <i>n</i>	R_{adj}^2	<i>S</i>
40 °C	Lewis	0,1732	-	0,9963	0,0220
	Page	0,1491	1,0916	0,9976	0,0175
	H&P	0,1749	1,0066	0,9961	0,0224
50 °C	Lewis	0,3007	-	0,9934	0,0298
	Page	0,2666	1,0936	0,9949	0,0262
	H&P	0,3021	1,0037	0,9930	0,0306
55 °C	Lewis	0,3437	-	0,9941	0,0287
	Page	0,2949	1,1403	0,9977	0,0177
	H&P	0,3531	1,0213	0,9943	0,0281
60 °C	Lewis	0,4656	-	0,9943	0,0279
	Page	0,4176	1,1518	0,9979	0,0168
	H&P	0,4796	1,0229	0,9945	0,0273
70 °C	Lewis	0,5745	-	0,9925	0,0321
	Page	0,5262	1,1839	0,9974	0,0189
	H&P	0,5949	1,0272	0,9928	0,0315

Tabela 6 - Parâmetros estimados, coeficiente de determinação ajustado e erro padrão da regressão para os modelos de Lewis, Page e de Henderson e Pabis (H&P) em diferentes temperaturas do ar de secagem do feijão Pontal Germinado (PG).

Temperatura	Modelo	<i>k</i>	<i>a</i> ou <i>n</i>	R_{adj}^2	<i>S</i>
40 °C	Lewis	0,1826	-	0,9987	0,0126
	Page	0,1921	0,9706	0,9988	0,0118
	H&P	0,1809	0,9930	0,9987	0,0125
50 °C	Lewis	0,2949	-	0,9988	0,0127
	Page	0,2755	1,0541	0,9993	0,0093
	H&P	0,3008	1,0151	0,9990	0,0115
55 °C	Lewis	0,3456	-	0,9973	0,0193
	Page	0,3092	1,1037	0,9994	0,0093
	H&P	0,3565	1,0239	0,9978	0,0172
60 °C	Lewis	0,3807	-	0,9888	0,0402
	Page	0,3093	1,2204	0,9964	0,0229
	H&P	0,4002	1,0399	0,9901	0,0378
70 °C	Lewis	0,5034	-	0,9968	0,0204
	Page	0,4804	1,0741	0,9977	0,0173
	H&P	0,5072	1,0056	0,9966	0,0210

O modelo é considerado melhor quanto maior for o coeficiente de determinação ajustado (R_{adj}^2) e quanto menor for o erro padrão da regressão (S). Analisando os coeficientes de determinação, observa-se que todos os modelos matemáticos ajustados aos dados experimentais estudados apresentaram coeficientes de determinação superior a 98% ($R_{adj}^2 > 0,98$). Entretanto, o modelo de Page, em todos os tratamentos (EC/EG/PC/PG), foi àquele que apresentou o maior coeficiente de determinação ajustado e o menor erro padrão da regressão em todas as temperaturas, quando comparado com os demais modelos. Logo, conclui-se que, dentre os modelos testados, o de Page é o que melhor representa as cinéticas de secagem dos feijões Estilo e Pontal, tanto cozido quanto germinado.

As características de secagem dos diversos tipos de alimentos têm sido estudadas e diversos modelos matemáticos têm sido propostos para descrever o processo de secagem de alimentos (PIN *et al.*, 2009; PARDESHI *et al.*, 2009; RAHMAN *et al.*, 2009). Os resultados do presente trabalho estão de acordo com a literatura, em que se observa que o modelo de Page tem demonstrado melhor ajuste e, portanto, sendo o melhor modelo para descrever a cinética de secagem de variados alimentos desidratados (ALEXANDRE *et al.*, 2009; SANTOS *et al.*, 2010; MADUREIRA *et al.*, 2012), dentre elas o feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) (AFONSO JÚNIOR; CORRÊA, 1999; CORRÊA *et al.*, 2007). De acordo com Viganó (2012), tal fato pode ser atribuído ao número de parâmetros ajustáveis (k e n) desse modelo. O parâmetro k representa o efeito das condições externas da secagem, como a temperatura (BABALIS; BELESSIOTIS, 2004), já o parâmetro n representa a resistência interna do produto à secagem (CORRÊA *et al.*, 2007). Esses parâmetros permitem um melhor ajuste dos dados experimentais e, além disso, o modelo de Page é um modelo exponencial que pode representar a natureza das curvas da cinética de secagem (VIGANÓ, 2012).

Corrêa *et al.* (2007) avaliaram a cinética de secagem de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) e, ao ajustarem diferentes modelos matemáticos, concluíram que o modelo de Page foi o que melhor descreveu o processo de secagem do feijão ajustando-se satisfatoriamente aos dados experimentais, com o menor erro padrão e maior coeficiente de determinação (0,9996). E, principalmente, devido a sua simplicidade de aplicação e por ser, tradicionalmente, recomendado e aplicado para prever o fenômeno de secagem de diversos produtos alimentícios.

Por outro lado, Andrade e colaboradores (2010) demonstraram, em seus estudos, que o modelo de Page não foi o que melhor se ajustou às curvas de secagem de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.), porém pode-se concluir que, apesar disso, o modelo de Page descreveu satisfatoriamente o processo de secagem de sementes de feijão, uma vez que apresentou alto coeficiente de determinação em todas as curvas estudadas, variando entre 95,5 e 99,9%. No presente trabalho esses valores variaram de 99,4 a 99,9%, confirmando que o modelo de Page foi àquele que melhor descreveu a cinética de secagem dos feijões cozido e germinado.

Esse resultado é confirmado também pelas Figuras 3, 4, 5 e 6 a seguir que representam as curvas de secagem dos feijões PC, PG, EC e EG respectivamente, através dos modelos de Lewis, Page e Handerson & Pabis (H&P) nas cinco temperaturas testadas. Observa-se que, dentre os modelos avaliados, a curva ajustada pelo modelo de Page foi a que mais se aproximou dos resultados experimentais, confirmando, mais uma vez, o melhor desempenho desse modelo. Assim, o modelo de Page foi o modelo escolhido para descrever a cinética de secagem dos feijões cozido e germinado.

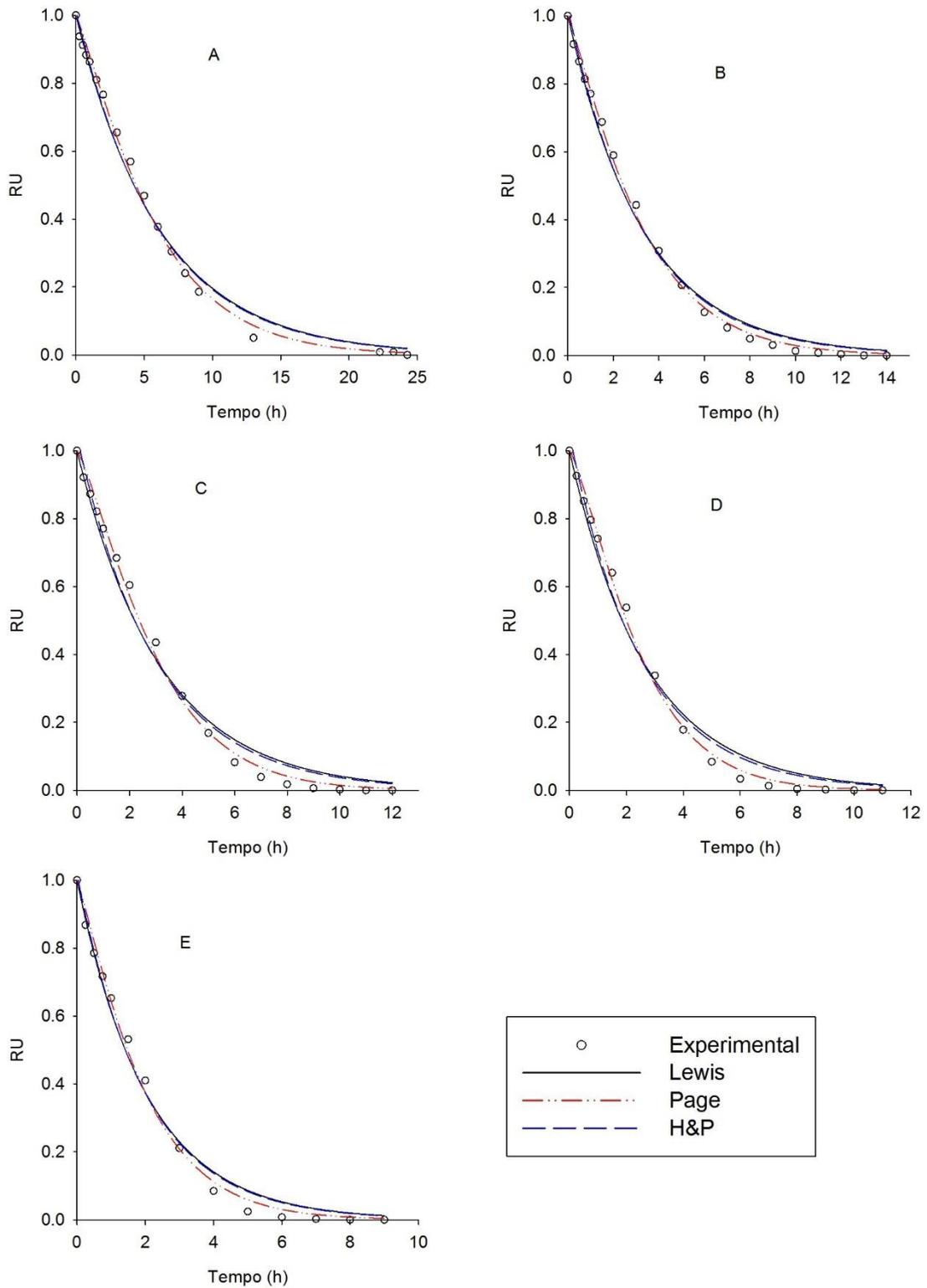


Figura 3 – Curvas de secagem dos modelos de Lewis, Page e Henderson & Pabis (H&P) do feijão Estilo Cozido (EC) em diferentes temperaturas do ar de secagem. A: 40 °C; B: 50 °C; C: 55 °C; D: 60 °C; E: 70 °C.

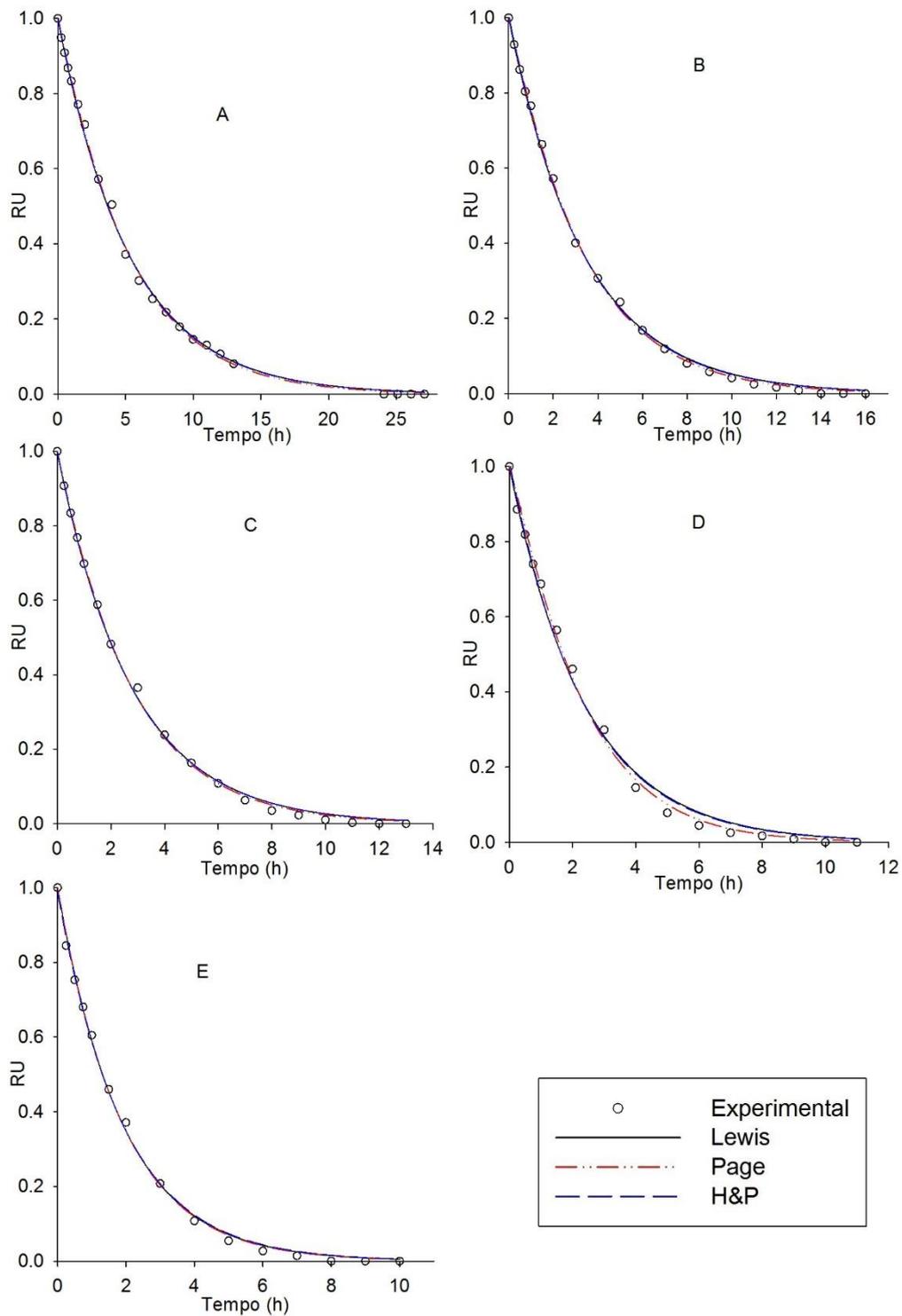


Figura 4 – Curvas de secagem dos modelos de Lewis, Page e Henderson & Pabis (H&P) do feijão Estilo Germinado (EG) em diferentes temperaturas do ar de secagem. A: 40 °C; B: 50 °C; C: 55 °C; D: 60 °C; E: 70 °C.

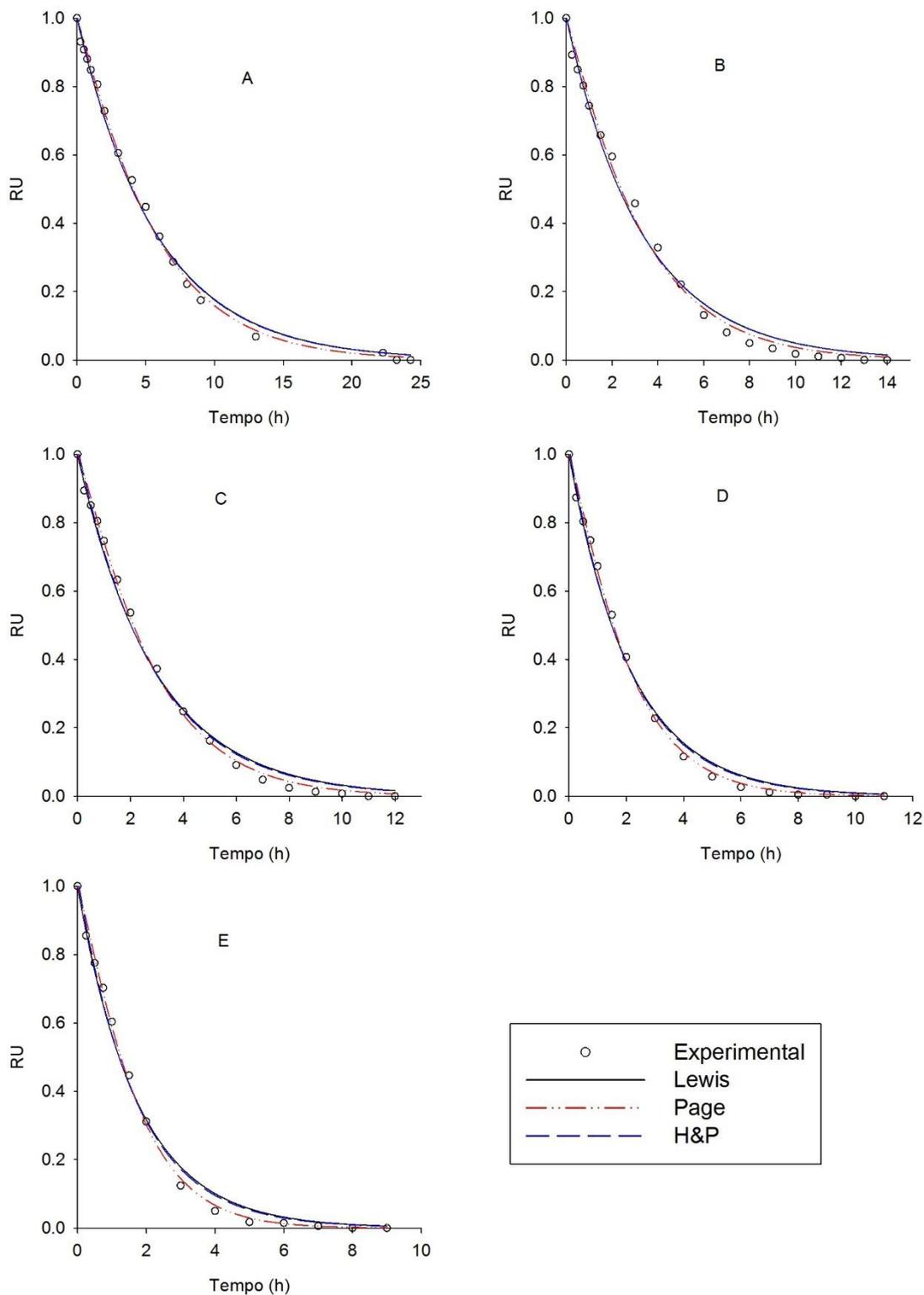


Figura 5 – Curvas de secagem dos modelos de Lewis, Page e Henderson & Pabis (H&P) do feijão Pontal Cozido (PC) em diferentes temperaturas do ar de secagem. A: 40 °C; B: 50 °C; C: 55 °C; D: 60 °C; E: 70 °C.

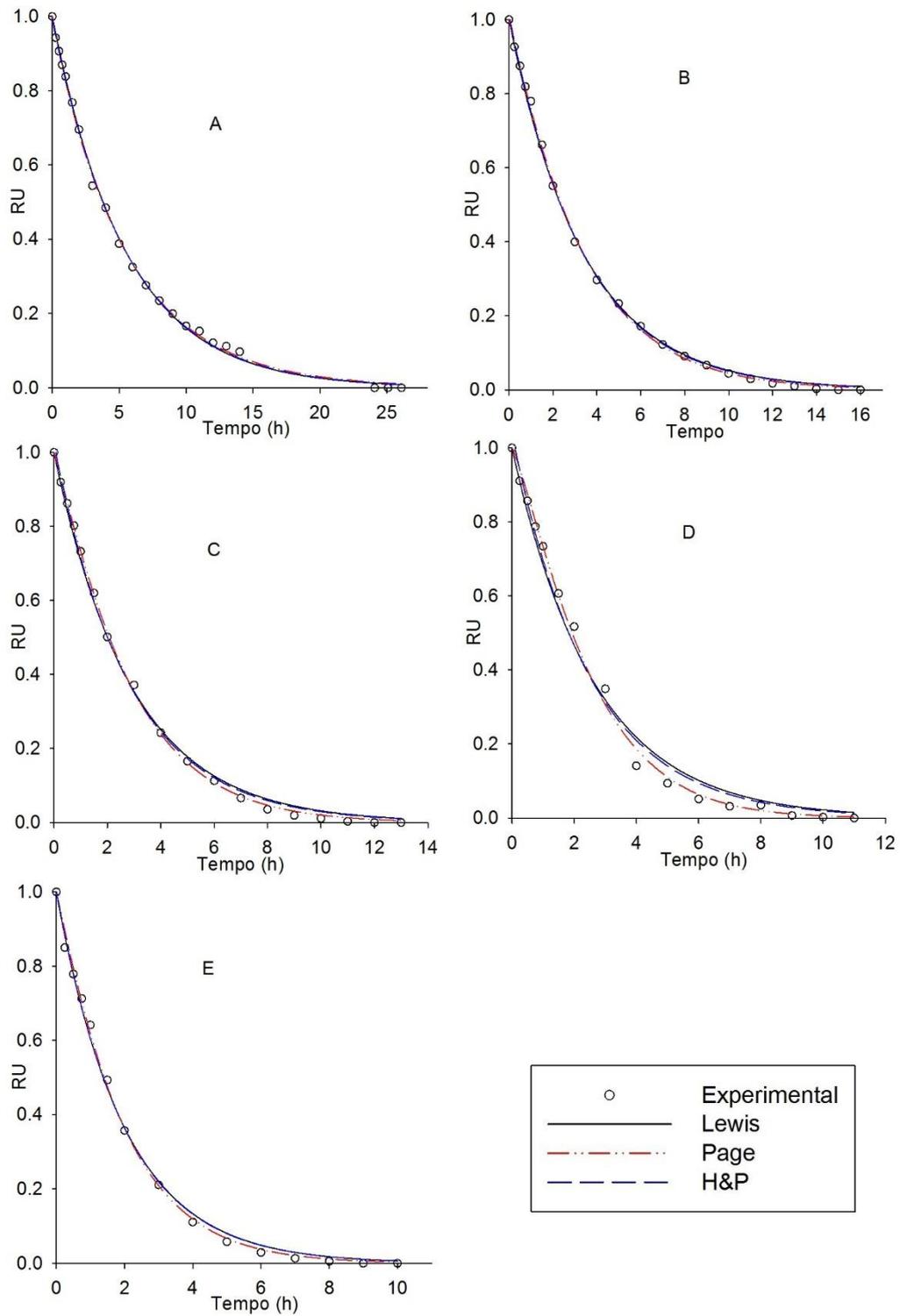


Figura 6 – Curvas de secagem dos modelos de Lewis, Page e Henderson & Pabis (H&P) do feijão Pontal Germinado (PG) em diferentes temperaturas do ar de secagem. A: 40 °C; B: 50 °C; C: 55 °C; D: 60 °C; E: 70 °C.

Ao observar as curvas de secagem acima, referidas aos modelos estudados, em todos os tratamentos, nota-se que, quando se aumenta a temperatura do ar de secagem, a partir de temperaturas menores (40 e 50 °C), ocorre uma redução do tempo de secagem muito grande. Por outro lado, quando se aumenta a temperatura, a partir de temperaturas maiores (60 e 70 °C), essa redução no tempo de secagem torna-se menor.

Nas figuras 7, 8, 9 e 10 são apresentadas as curvas de secagem convencional em secador convectivo segundo o modelo de Page do feijão Estilo cozido (EC) e germinado (EG); e do feijão Pontal cozido (PC) e germinado (PG), para as cinco temperaturas testadas. Mais uma vez observa-se que, com o aumento da temperatura do ar ocorre a redução do tempo de secagem. O aumento da temperatura do ar de secagem, não só promove a redução do tempo de secagem como também promove maior taxa de remoção de água do produto, concordando com diversos pesquisadores, nos mais diversos tipos de alimentos, incluindo feijão caupi (MORAIS *et al.*, 2013), amêndoas de jaca (QUEIROZ *et al.*, 2016), urucum (SANTOS *et al.*, 2013), massa fibrosa de mandioca (CASTIGLIONI *et al.*, 2013), dentre outros.

A tendência de perda rápida de peso no início do processo de secagem pode ser explicada pela transferência de calor e massa que ocorre simultaneamente quando um sólido úmido é submetido à secagem. A transferência de calor do ar para o material e a transferência de massa (água) do material para o ar (FOUST *et al.*, 1982), dependem da temperatura externa, ou seja, da temperatura de secagem, e quanto maior a temperatura de secagem, maior é a tendência do produto de perder peso durante um período menor de tempo (PARK *et al.*, 2007).

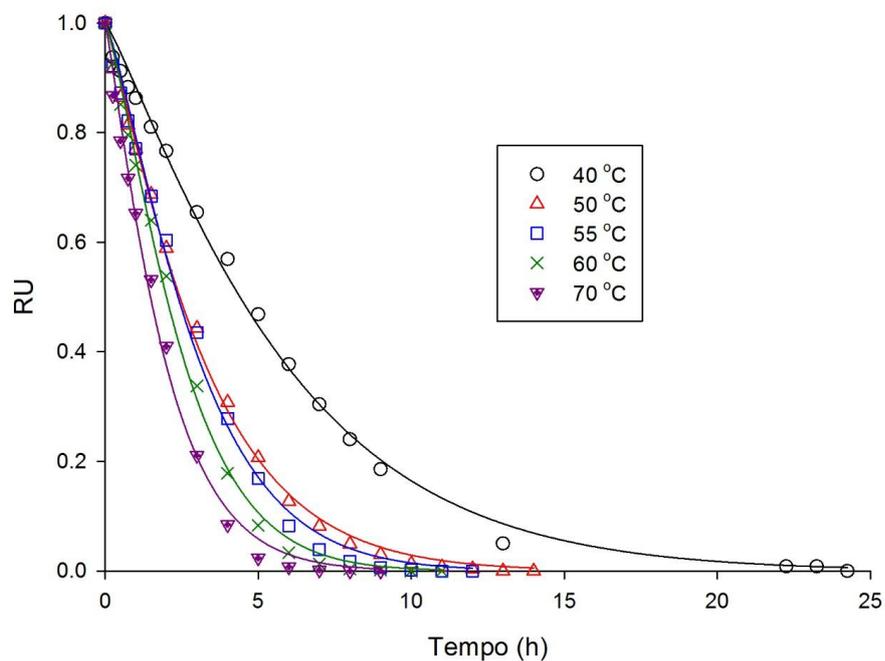


Figura 7 – Curvas de secagem do feijão Estilo Cozido (EC) em diferentes temperaturas do ar de secagem. As curvas referem-se ao modelo de Page ajustado em cada temperatura.

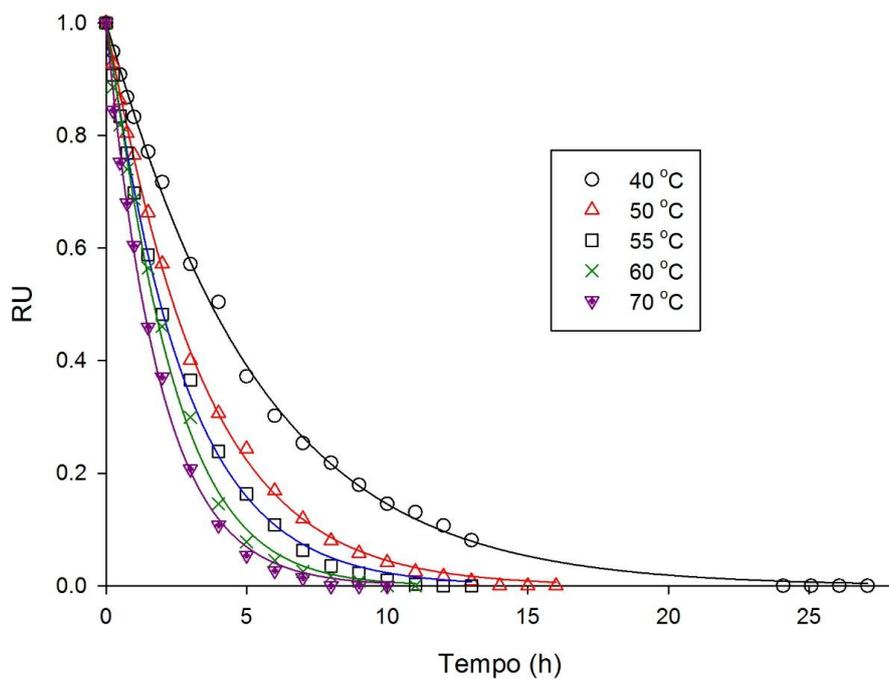


Figura 8 – Curvas de secagem do feijão Estilo Germinado (EG) em diferentes temperaturas do ar de secagem. As curvas referem-se ao modelo de Page ajustado em cada temperatura.

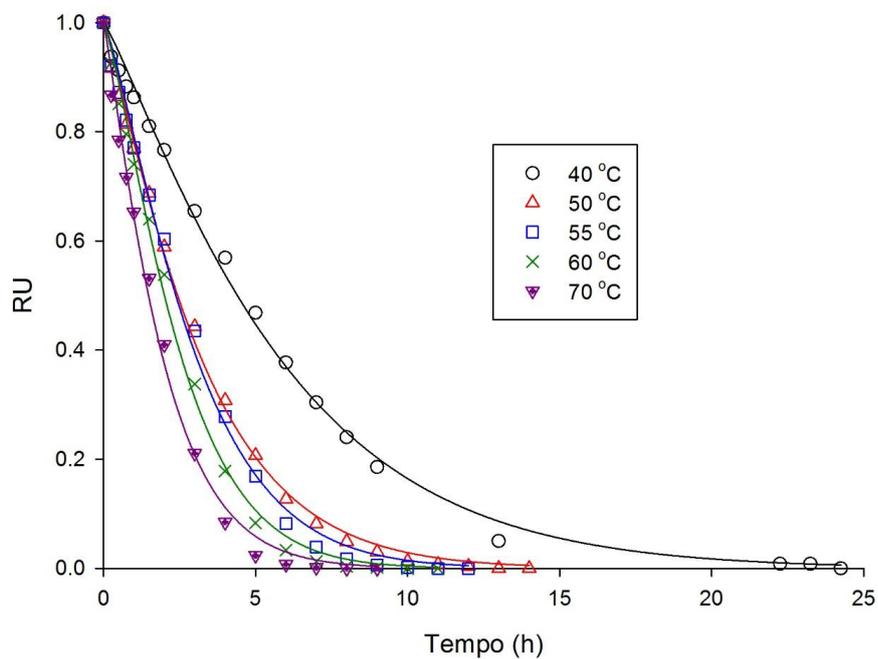


Figura 9 – Curvas de secagem do feijão Pontal Cozido (PC) em diferentes temperaturas do ar de secagem. As curvas referem-se ao modelo de Page ajustado em cada temperatura.

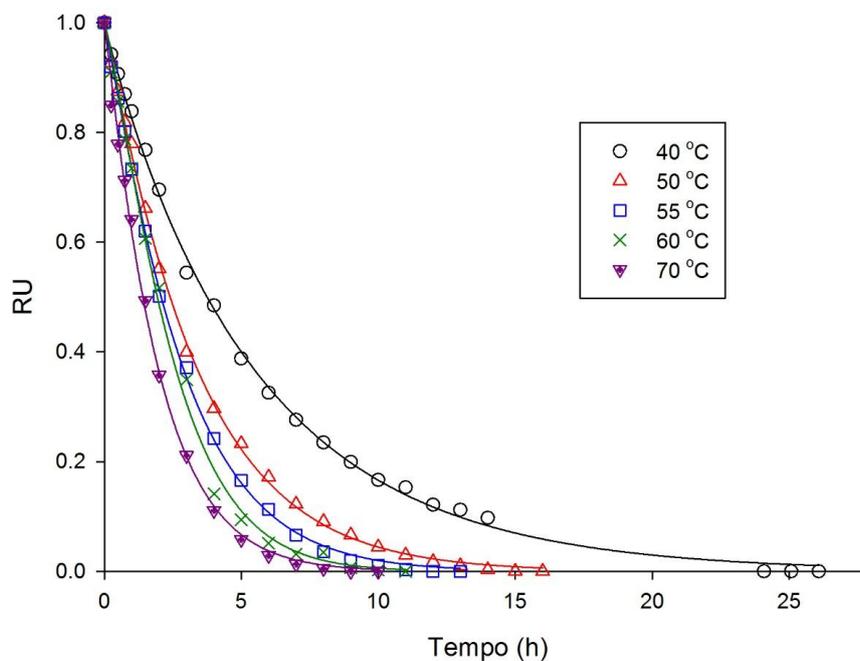


Figura 10 – Curvas de secagem do feijão Pontal Germinado (PG) em diferentes temperaturas do ar de secagem. As curvas referem-se ao modelo de Page ajustado em cada temperatura.

De acordo com o modelo de Page, a razão de umidade varia de 1 (tempo zero) a zero (tempo tendendo ao infinito). Portanto, o tempo final do processo de secagem não poderia ser definido como aquele no qual a razão de umidade seja zero, pois este tempo seria infinito uma vez que o valor zero para a razão de umidade é na realidade uma assíntota horizontal. Sendo assim, o final do processo de secagem pode ser definido como o tempo onde a razão de umidade atinge um valor suficientemente próximo de zero. Para comparar os diferentes tratamentos quanto ao tempo necessário para o processo de secagem, adotou-se como critério o tempo final sendo aquele no qual a razão de umidade livre atinja o valor de 0,01. Assim, o tempo de secagem pode ser calculado de acordo com a seguinte fórmula (Eq.8):

$$t_s = \left(-\frac{\ln(0,01)}{k} \right)^{1/n} \quad (8)$$

Em que t_s é o tempo de secagem, segundo o critério adotado e, n e k são os parâmetros do Modelo de Page para o tratamento avaliado.

A partir dos parâmetros ajustados para o modelo de Page, calculou-se uma estimativa do tempo de secagem em cada tratamento conforme Eq. 8. Os valores calculados para o tempo de secagem são apresentados na Tabela 7.

A relação de tempo e temperatura pôde ser verificada claramente nos gráficos das curvas de secagem apresentados. De modo geral, o tempo de secagem para os feijões germinados foi maior que para os feijões cozidos. Observa-se que o tempo de secagem para todos os tratamentos foi menor com o aumento da temperatura de secagem, ou seja, à medida que se aumenta a temperatura do ar de secagem, o tempo necessário para a secagem diminui. Quando se aumenta a temperatura no intervalo de 40 a 50 °C, a redução média no tempo de secagem é de 0,98 horas para cada 1 °C de aumento na temperatura para o feijão Estilo cozido e de 0,96 horas para o feijão Pontal cozido. Em relação aos feijões germinados, essa redução é mais acentuada (1,19 horas) para o feijão Pontal. Visto que para a cultivar BRS Estilo a redução foi de 0,85 horas para cada 1 °C de aumento na temperatura. A redução no

tempo de secagem torna-se menor com o aumento da temperatura, atingindo o valor médio de 0,12 horas para cada 1 °C de aumento na temperatura no intervalo de 60 a 70 °C para o feijão EC, de 0,18 horas para o feijão PC, 0,08 horas para o feijão EG e de 0,09 horas para o feijão PG.

Tabela 7 - Tempo de secagem estimado pela Eq.8 para diferentes temperaturas de secagem, para os feijões cozido e germinado.

Temperatura (°C)	t_s (h)				$\Delta t_s / \Delta T$ (h/°C)			
	EC	PC	EG	PG	EC	PC	EG	PG
40	22,34	23,16	23,08	26,39				
50	12,55	13,54	14,56	14,47	-0,98	-0,96	-0,85	-1,19
55	10,71	11,14	12,15	11,55	-0,37	-0,48	-0,48	-0,58
60	8,78	8,04	9,33	9,14	-0,38	-0,61	-0,56	-0,48
70	7,60	6,25	8,57	8,20	-0,12	-0,18	-0,08	-0,09

EC: Estilo Cozido; EG: Estilo Germinado; PC: Pontal Cozido; PG: Pontal Germinado.

Essas informações são úteis no projeto de otimização do processo de secagem, uma vez que o custo do processo de secagem é em função do tempo e da temperatura de secagem. O custo aumenta com o tempo de secagem e o custo por unidade de tempo aumenta com a temperatura de secagem, sendo a temperatura o principal fator que influencia na velocidade do processo (FALADE; SOLADEMI, 2010).

3.2. Avaliação do efeito da temperatura e do tempo de secagem sobre o teor de umidade dos feijões cozido e germinado

Foi proposto um modelo generalizado, partindo-se do modelo de Page (Eq.2), a fim de descrever a razão de umidade livre de cada tratamento em função do tempo e da temperatura do processo de secagem dos feijões.

A partir dos parâmetros do modelo de Page estimados em todas as temperaturas testadas, foi possível verificar que o parâmetro k variou muito mais

que o parâmetro n com a variação da temperatura em todos os tratamentos. Para os feijões EC e PC o parâmetro k apresentou um coeficiente de variação de 43,11% e 43,83%, respectivamente, enquanto que o parâmetro n apresentou um coeficiente de variação de 5,10% para o EC e de 3,49% para o feijão PC. Em relação aos feijões germinados o parâmetro k apresentou um coeficiente de variação de 37,77% para o feijão EG e 33,51% para o feijão PG, enquanto que o parâmetro n apresentou um coeficiente de variação de 3,69% para EG e de 8,35% para PG. Portanto, como o parâmetro n obteve menores coeficientes de variação, optou-se por considerar, no modelo generalizado, este parâmetro independente da temperatura utilizada.

Foi possível verificar graficamente que o parâmetro k do modelo de Page tem uma tendência em aumentar exponencialmente com a temperatura. Deste modo, propõe-se a seguinte relação funcional para o parâmetro k :

$$k = k_1 e^{\frac{-k_2}{T}} \quad (9)$$

Em que,

T = Temperatura do ar de secagem, em K

k_1 e k_2 = parâmetros do modelo.

A relação entre a constante de secagem k do modelo de Page e a temperatura do ar de secagem pode ser descrita pelo modelo de Arrhenius (CORRÊA *et al.*, 2007). O modelo proposto pela Eq. 9 tem uma forma semelhante ao modelo de Arrhenius e sua proposição foi determinada uma vez que o parâmetro k variou exponencialmente com a temperatura e também pelo fato do parâmetro k estar relacionado com a difusividade efetiva do material. Tradicionalmente, o modelo de Arrhenius é o mais utilizado para explicar a difusividade efetiva em função da temperatura (BABALIS; BELESSIOTIS, 2004).

Substituindo a Eq. 9 na Eq. 2 do modelo de Page, obtém-se o seguinte modelo generalizado:

$$RU = e^{\left[- \left(k_1 e^{\frac{-k_2}{T}} \right) t^n \right]} \quad (10)$$

Em que a razão de umidade, RU , é uma função da temperatura, T , e do tempo, t .

O modelo generalizado foi ajustado por meio de regressão não linear, utilizando-se todos os dados experimentais de todas as curvas de secagem, ou seja, todos os valores de razão de umidade em todos os tempos de secagem e de todas as temperaturas de secagem.

Os parâmetros ajustados para o modelo generalizado estão apresentados na Tabela 8. O modelo ajustado apresentou um coeficiente de determinação igual a 0,9935 para o feijão EC, 0,9975 para o feijão EG, 0,9954 para o feijão PC e 0,9962 para o feijão PG.

Tabela 8 – Parâmetros ajustados para o modelo generalizado, Eq.10.

Parâmetro	Estimativa			
	EC	EG	PC	PG
k_1	$3,5438 \cdot 10^5$	$3,5438 \cdot 10^5$	$1,2059 \cdot 10^6$	$4,8220 \cdot 10^4$
k_2	4652,63	4652,63	4985,20	3931,83
n	1,2095	1,2095	1,1293	1,0723

As Figuras 11, 12, 13 e 14 apresentam os gráficos dos valores preditos pelo modelo generalizado *versus* os valores experimentais para os feijões EC, EG, PC e PG, respectivamente. Observa-se que os modelos generalizados apresentaram altos valores de coeficiente de determinação (EC=0,9935; EG=0,9975; PC = 0,9954; PG=0,9962), o que significa que esses modelos tem um bom ajuste à secagem dos feijões cozidos e germinados. Além disso, observa-se nos gráficos que os pontos estão próximos e aleatoriamente distribuídos em torno da reta $y=x$, o que confirma que o modelo generalizado ajustado é adequado para estimar a razão de umidade dos feijões cozidos e germinados como função da temperatura do ar de secagem e do tempo de secagem.

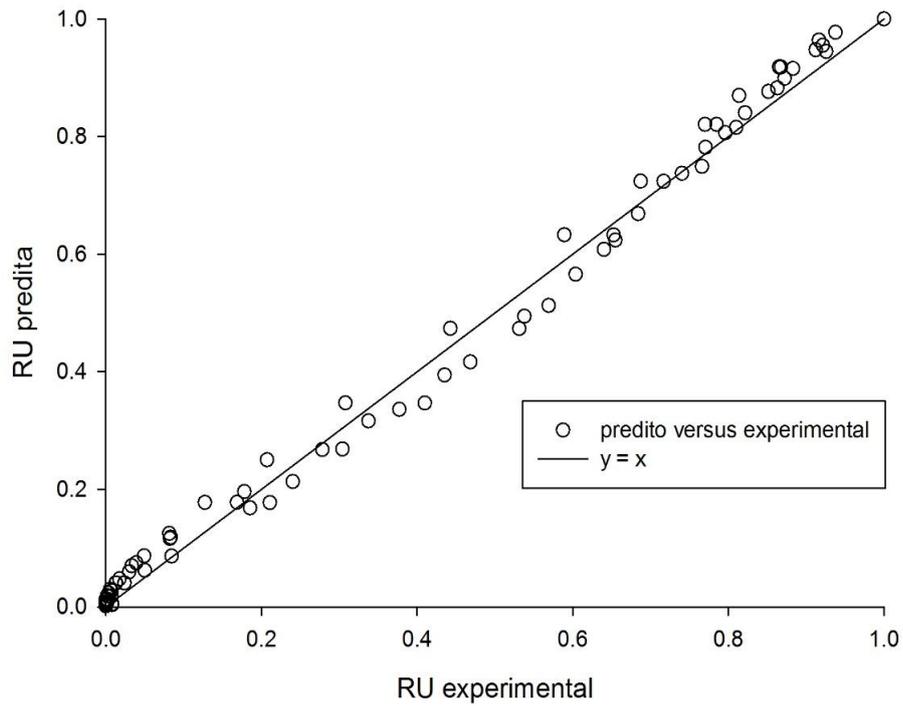


Figura 11 – Valores preditos pelo modelo generalizado *versus* valores experimentais da razão de umidade para o feijão Estilo Cozido (EC).

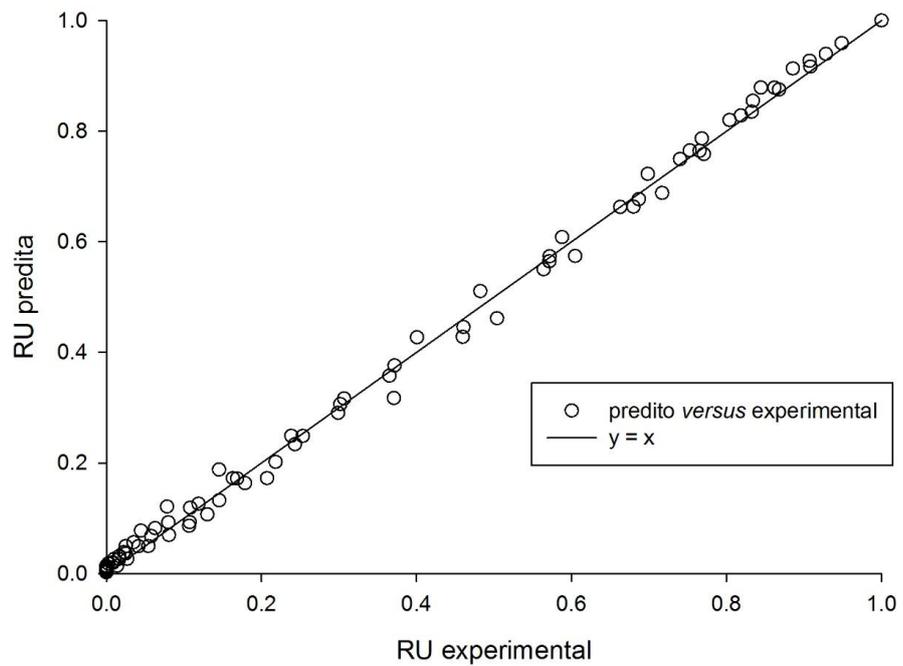


Figura 12 – Valores preditos pelo modelo generalizado *versus* valores experimentais da razão de umidade para o feijão Estilo Germinado (EG).

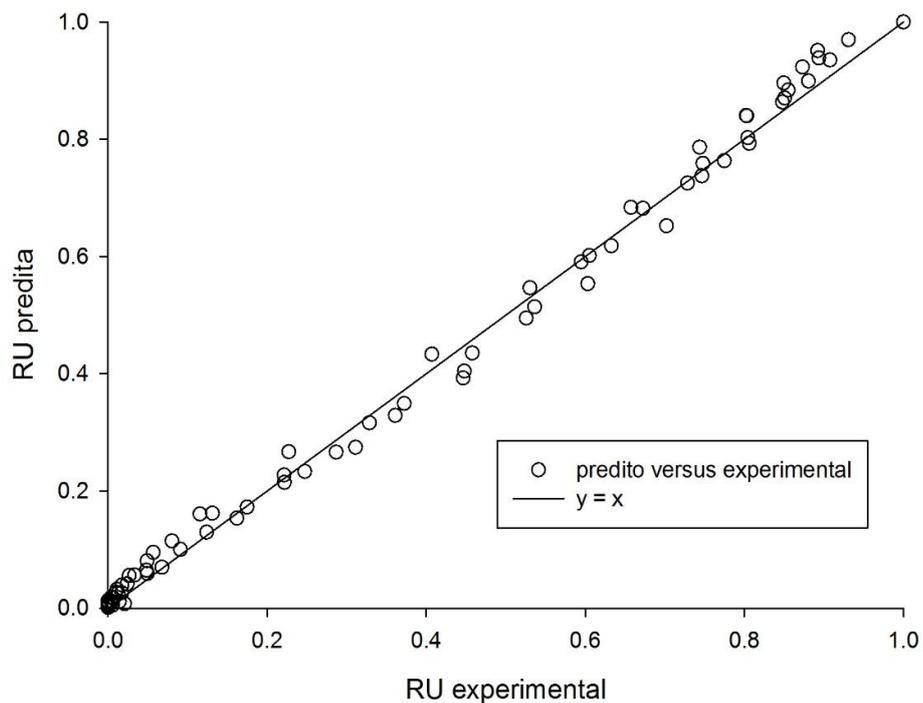


Figura 13 – Valores preditos pelo modelo generalizado *versus* valores experimentais da razão de umidade para o feijão Pontal Cozido (PC).

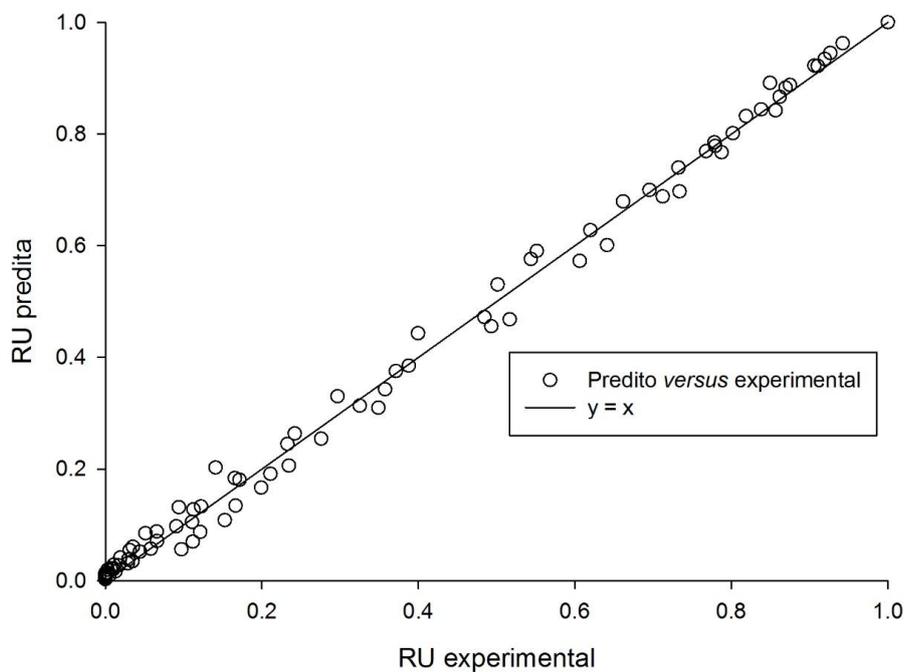


Figura 14 – Valores preditos pelo modelo generalizado *versus* valores experimentais da razão de umidade para o feijão Pontal Germinado (PG).

3.3. Efeito da temperatura de secagem na composição físico-química dos feijões cozido e germinado

Dentre as análises físico-químicas realizadas, a temperatura de secagem teve efeito significativo ($p < 0,05$) apenas sobre a atividade de água e a umidade das farinhas de feijões cozidos e germinados.

Portanto, através da análise de regressão dessas variáveis verificou-se um decaimento exponencial da umidade com o aumento da temperatura. Assim, foi avaliado o modelo de decaimento exponencial com três parâmetros listado a seguir, eliminando-se parâmetros não significativos ($p > 0,05$) do modelo (Eq. 11):

$$\hat{U} = U_{min} + (U_o - U_{min}) e^{-kT} \quad (11)$$

Em que \hat{U} é a umidade da farinha, em %, estimada pelo modelo para uma dada temperatura T em °C. U_{min} , U_o e k são parâmetros do modelo.

Na Tabela 9 estão apresentados os modelos ajustados para cada tratamento com seus respectivos valores dos coeficientes de determinação (R^2).

Tabela 9 – Modelos ajustados para avaliar o efeito da temperatura (T) do ar de secagem sobre o teor de água (U) das farinhas de feijão cozido e germinado.

Tratamento	Modelo ajustado	R^2
PC	$\hat{U} = 25,8665 e^{-0,02508 T}$	0,9727
PG	$\hat{U} = 2,9818 + 77,6075 e^{-0,05988 T}$	0,9850
EC	$\hat{U} = 35,6992 e^{-0,03795 T}$	0,9748
EG	$\hat{U} = 21,1015 e^{-0,02268 T}$	0,8973

A Figura 15 a seguir mostra a variação da umidade das farinhas com a temperatura de secagem para os diferentes tratamentos testados. É possível notar

que à medida que a temperatura do ar de secagem aumenta, a umidade das farinhas de feijão diminui.

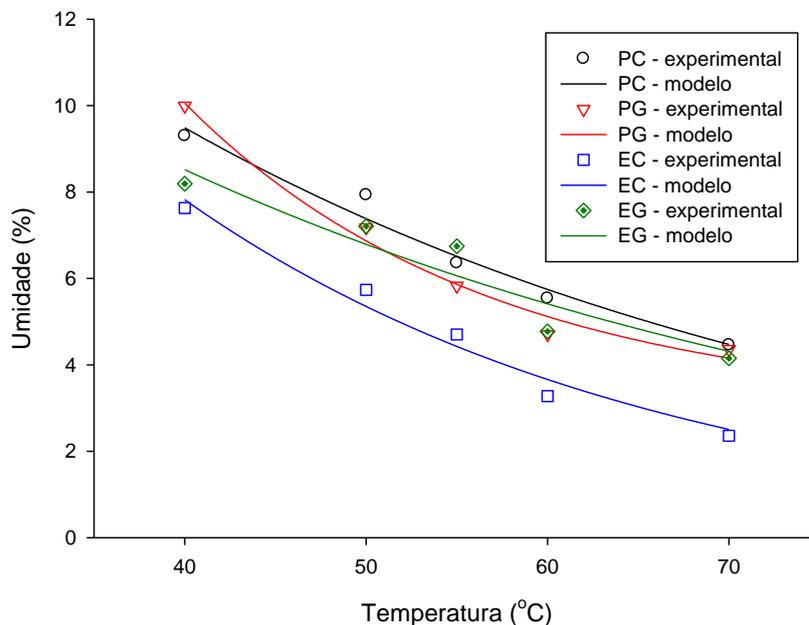


Figura 15 – Variação de umidade das farinhas de feijão cozido e germinado com a temperatura de secagem.

O teor de água é um importante fator para a conservação de farinhas (BRASIL, 2005). O teor de umidade das farinhas de feijão foi menor que 10% em todos os tratamentos assim como nas cinco temperaturas avaliadas, variando de 9,99%, na menor temperatura de secagem (40 °C), a 2,36% na maior (70 °C), respectivamente. Apesar de não haver resolução específica para farinha de feijão, Gomes e Silva (2003) relatam que o teor de água de farinhas de feijão abaixo de 10% representa um importante índice de qualidade do produto, uma vez que resulta em maior estabilidade do produto em relação às características químicas e microbiológicas. Gomes e colaboradores (2012) relataram que um teor de umidade da farinha de feijão em torno de 14% atende à legislação vigente para ser um produto caracterizado como farinha. De acordo com a legislação brasileira que regulamenta as normas técnicas das farinhas de trigo, o teor de umidade recomendado é de 14%, sendo o limite máximo permitido de 15% (BRASIL, 1996; BRASIL, 2005). Visto que teores mais elevados de umidade podem promover alterações nas propriedades físicas e químicas do produto, como a aglomeração de

partículas e o aumento das velocidades de reações químicas e consequentes alterações indesejáveis do produto devido ao elevado teor de água (LAVELLI *et al.*, 2012; JORGE, 2014). Portanto, todas as farinhas obtidas no presente estudo estão de acordo com as recomendações para o teor de umidade especificado pela legislação vigente.

A temperatura de secagem, conseqüentemente, também influenciou de forma significativa a atividade de água das farinhas. Pode-se observar um decaimento exponencial da atividade de água com o aumento da temperatura, assim como ocorrido para o teor de umidade. Portanto, foi avaliado o modelo de decaimento exponencial com três parâmetros listado a seguir, eliminando-se parâmetros não significativos ($p > 0,05$) do modelo (Eq. 12):

$$\hat{a}_w = a_{w,min} + (a_{w,o} - a_{w,min}) e^{-kT} \quad (12)$$

Em que \hat{a}_w é a atividade de água da farinha estimada pelo modelo para uma dada temperatura T em °C. $a_{w,min}$, $a_{w,o}$ e k são parâmetros do modelo.

A Tabela 10 a seguir mostra os modelos ajustados para cada tratamento, com os seus respectivos valores dos coeficientes de determinação.

Tabela 10 - Modelos ajustados para avaliar o efeito da temperatura (T) do ar de secagem sobre a atividade de água (A_w) das farinhas de feijão cozido e germinado.

Tratamento	Modelo ajustado	R ²
PC	$\hat{a}_w = 1,8591 e^{-0,03143 T}$	0,9945
PG	$\hat{a}_w = 2,88835 e^{-0,03919 T}$	0,9958
EC	$\hat{a}_w = 1,8870 e^{-0,03784 T}$	0,9914
EG	$\hat{a}_w = 1,6986 e^{-0,02825 T}$	0,9530

De acordo com a Figura 16 a seguir observa-se a variação da atividade de água das farinhas com a temperatura de secagem para os diferentes tratamentos testados. É possível notar o mesmo comportamento, em que à medida que a

temperatura do ar de secagem aumenta, a atividade de água das farinhas de feijão diminui.

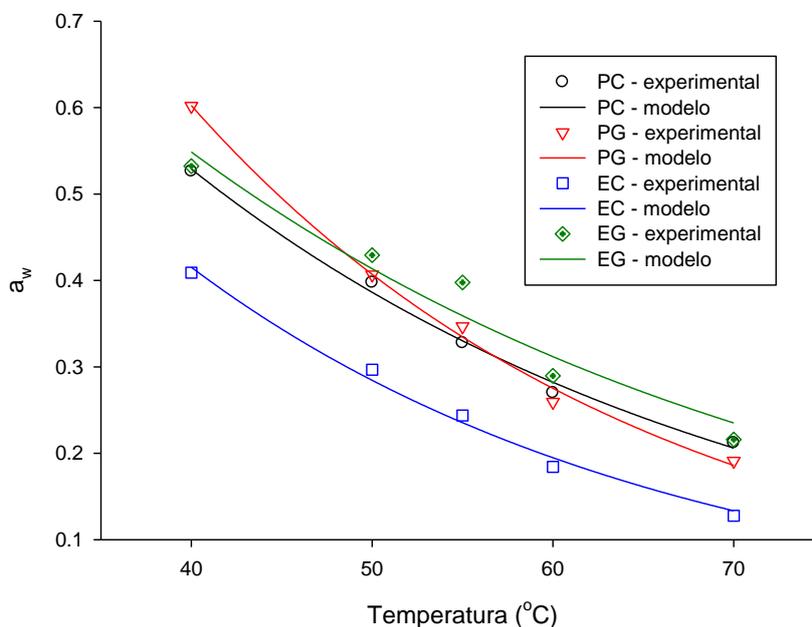


Figura 16 – Variação da atividade de água (A_w) das farinhas de feijão cozido e germinado com a temperatura de secagem.

O efeito que a temperatura do ar exerce no processo de secagem, em relação à umidade bem como na atividade de água das farinhas, é esperado e, segundo Shivhare e colaboradores (2004) deve-se à energia cinética que está associada às moléculas de água do material. À medida que se aumenta a temperatura, há o aumento da energia cinética do sistema, diminuindo as forças de atração entre as moléculas de água e os demais constituintes do produto, com consequente perda do teor de água por evaporação. Doymaz e Ismail (2011) demonstraram que a temperatura influencia de forma significativa no processo de secagem devido ao aumento da difusividade por diferença de pressão parcial de vapor. Quando, no decorrer da secagem, a umidade relativa do ar ambiente é menor que a umidade da superfície dos grãos, o vapor de água sobre a superfície do grão migra para o ar e, internamente no grão é estabelecido um gradiente de pressão parcial de vapor de água (DÍAZ, 2011).

Além disso, o principal objetivo da secagem é justamente a redução da quantidade de água do material com consequente redução da atividade biológica

(ARAUJO *et al.*, 2014), diminuindo o risco de proliferação microbiana e retardando reações químicas indesejáveis (IBARZ; BARBOSA-CANOVAS, 2002). A secagem é, portanto o processo mais utilizado para prolongar a vida útil de produtos alimentícios, por garantir a qualidade e a estabilidade durante o armazenamento (SANTOS *et al.*, 2013; ARAUJO *et al.*, 2014), uma vez que a atividade de água está relacionada com o desenvolvimento de microrganismos nos alimentos, como fungos e leveduras (FRANCO; LANDGRAF, 2008). Considera-se a atividade de água igual a 0,60 como sendo o limite mínimo capaz de permitir o desenvolvimento de microrganismos daí o fato dos alimentos desidratados, como a farinha de feijão, serem considerados como microbiologicamente estáveis (CHISTÉ *et al.*, 2007). As farinhas do presente estudo apresentaram os valores de atividade de água inferiores ao limite estabelecido.

Em relação às demais variáveis respostas (proteínas, lipídeos, cinzas, carboidratos totais e utilizáveis, fibras solúveis e insolúveis, teor de taninos, ferro e zinco) a temperatura de secagem não teve influência significativa ($p < 0,05$). Carvalho *et al.*, (2004) avaliaram o efeito da temperatura de secagem sobre a composição química de grãos de milho, bem como em seu armazenamento. Observaram, assim como no presente estudo, que a temperatura de secagem não teve qualquer influência na composição centesimal dos grãos secos. A Figura 17 ilustra as médias observadas para essas variáveis com os respectivos desvios padrão para os diferentes tipos de farinha em cada temperatura de secagem.

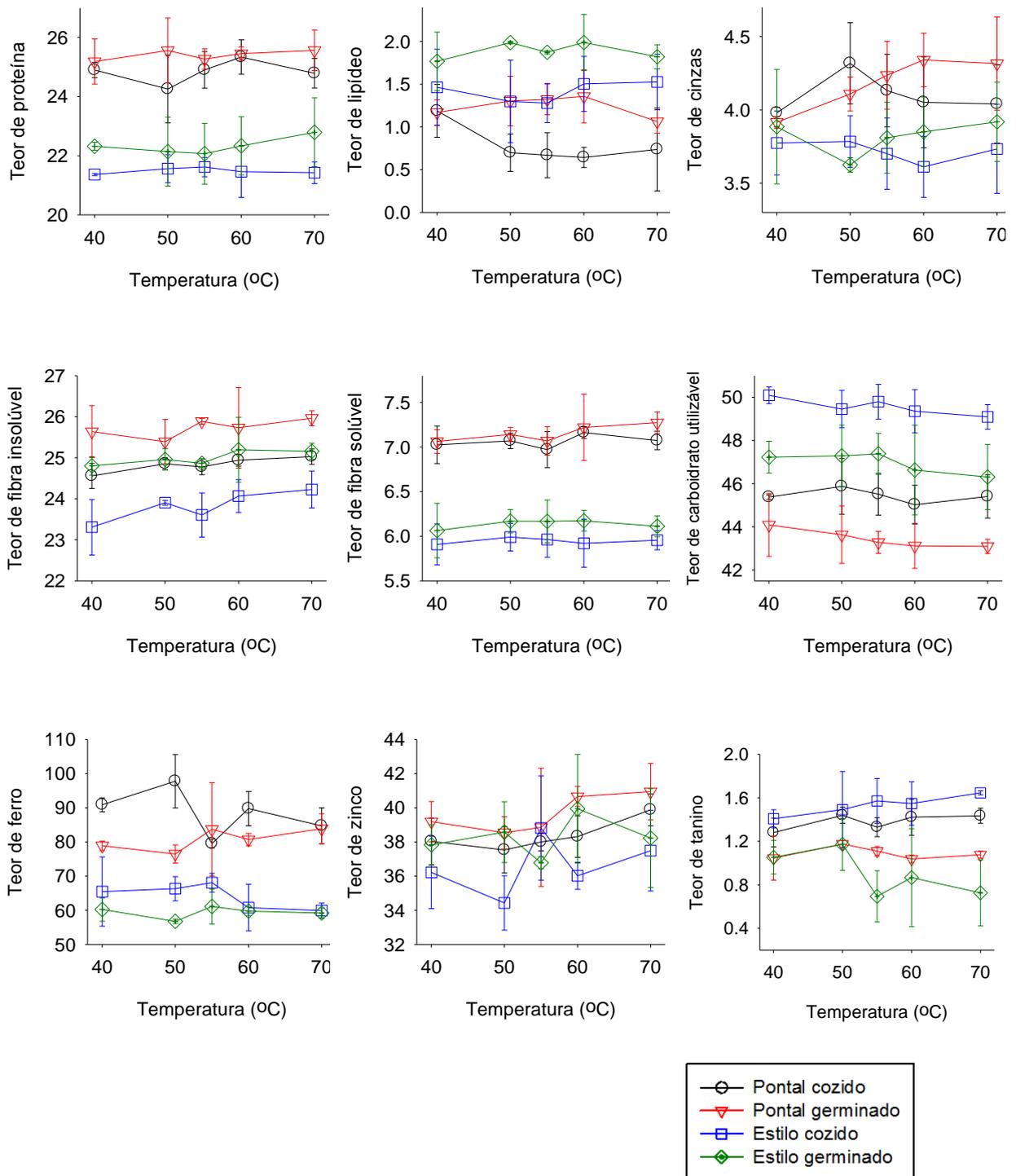


Figura 17 – Médias (em base seca) dos teores de proteínas (%), lipídeos (%), cinzas (%), fibra insolúvel (%), fibra solúvel (%), carboidrato utilizável (%), taninos (mg catequina/g), ferro (mg/kg) e zinco (mg/kg) com seus respectivos desvios padrão em diferentes temperaturas de secagem para as farinhas de feijão Pontal cozido (PC), feijão Pontal germinado (PG), feijão Estilo cozido (EC) e feijão Estilo germinado (EG).

O feijão é um dos vegetais mais ricos em proteína (MARQUEZI, 2013). No presente estudo os teores de proteína das farinhas de feijão cozido e germinado ficaram entre 21,3 e 25,6%, em base seca, e não houve influência da temperatura de secagem no seu conteúdo. Gomes e colaboradores (2012), ao avaliar os efeitos da temperatura de secagem (40, 50 e 60 °C) sobre o teor de proteína, também não encontrou diferença significativa em relação ao teor de proteínas de feijão caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp), que variaram de 24,6 e 26,5%. Marquezi (2013) ao avaliar diferentes variedades de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) (vermelho, carioca e preto), observou uma variação de 18 a 25% de proteínas totais dentre as cultivares avaliadas. O feijão possui um elevado teor de proteína e é, dentre as leguminosas, a melhor fonte deste nutriente. Além disso, o alto teor proteico é um bom índice para o uso da farinha de feijão também como ingrediente para alimentos formulados (GOMES *et al.*, 2006).

O teor de lipídeos dos feijões variou de 0,64 a 1,99% no presente estudo. Estes resultados estão próximos ao verificado por Brigide *et al.* (2014), que ao trabalhar com diferentes cultivares de feijão tipo carioca, encontraram teores variando de 1,66 a 2,13%. Vanier (2012) ao avaliar diversas cultivares de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.), dentre elas BRS Estilo e BRS Pontal, encontrou teores variando de 1,10 a 1,68%. Ramirez-Cárdenas e colaboradores (2008) encontraram uma variação de 1,27 a 1,94% em grão de feijão cru. O feijão não é uma boa fonte de lipídeos e seu teor pode variar de acordo com a região, práticas de cultivo e variedade (BRIGIDE *et al.*, 2014).

O teor de cinzas variou de 3,6% (feijão não biofortificado) a 4,3% (feijão biofortificado). Diversos estudos com diferentes cultivares de feijão comum, dentre elas BRS Estilo e BRS Pontal, relatam que os teores de cinzas variam de 3,36 a 4,95%, respectivamente, para cultivares de feijão não biofortificados bem como os biofortificados (RAMIREZ-CÁRDENAS *et al.*, 2008; SILVA *et al.*, 2010; VANIER, 2012).

O feijão é considerado uma boa fonte de fibras alimentares (VANIER, 2012). Dentre as fibras totais, se encontram as fibras insolúveis e solúveis. De acordo com Silva e colaboradores (2013) o feijão apresenta teor de fibra insolúvel de 21,27 a 24,32% e 6,09 a 8,42% de solúvel. Semelhante ao presente estudo, em que o teor de fibra insolúvel oscilou de 23,30 a 25,96% e 5,90 a 7,27% de fibra solúvel. Os principais componentes celulares encontrados no feijão são celulose, hemicelulose,

lignina, pectina e gomas (GONZÁLES, 2000). Entretanto, os teores de fibras alimentares podem variar de acordo com o ambiente em que as plantas são cultivadas e sua variedade (LONDERO *et al.*, 2008).

Os teores de carboidratos utilizáveis variaram de 43,11 a 49,79%, resultados estes superiores aos encontrados por Brigide *et al.* (2014), que relataram uma variação de 25,07 a 40,63% em cultivares da variedade carioca. Os carboidratos, assim como as proteínas, são um dos componentes principais e de maior teor em feijões secos (SATHE, 2002).

O teor de taninos dos feijões oscilou entre 0,70 (EG) a 1,65 mg de catequina/g (EC). Os fatores antinutricionais presentes nos feijões prejudicam a digestibilidade e a disponibilidade de certos nutrientes, porém as formas de preparo podem alterar consideravelmente os teores dessas substâncias nos feijões. O cozimento (VALDÉS, 2010; RAMIREZ-CÁRDENAZ *et al.*, 2008) e a germinação são métodos conhecidos por melhorar a qualidade nutricional do feijão (MARTINEZ, 2011). Ramirez-Cárdenaz e colaboradores (2008) encontraram uma variação de 0,1 a 1,82 mg catequina/g de feijão em amostras de feijões cozidas e cruas. Por outro lado, Martinez (2011), ao avaliar o efeito da germinação em feijões, verificou quantidades mínimas de taninos que não puderam ser quantificadas através das análises, o que confirma os benefícios de tal processamento na qualidade nutricional do feijão.

Em relação ao conteúdo de ferro e zinco, a cultivar BRS Pontal apresenta grande potencial para biofortificação, uma vez que apresentou valores superiores de ferro quando comparado com a cultivar BRS Estilo. Em contrapartida, o teor de zinco praticamente não alterou de uma cultivar para a outra, alcançando níveis máximos de 40,95 mg de zinco/kg de feijão. Segundo Silva *et al.* (2013), o feijão Pontal apresentou 32,58 mg de zinco/kg e um teor de ferro de 78,63 mg/kg, resultado este bem inferior ao encontrado no presente estudo. Assim como Vaz-Tostes e colaboradores (2016), que observaram que os teores de ferro e zinco ainda não haviam alcançado patamares desejáveis em feijões biofortificados, para serem considerados biofortificados com tais minerais. Porém o presente estudo encontrou resultados superiores, em que o teor de ferro do feijão Pontal chegou a 97,77 mg de ferro/kg. Os teores de minerais, assim como demais nutrientes, também podem variar com o local e práticas de cultivo (BRIGIDE *et al.*, 2014).

4. CONCLUSÃO

Dentre os modelos ajustados para descrever as curvas de secagem de feijões, o modelo de Page foi aquele que apresentou o maior coeficiente de determinação e menor erro padrão, descrevendo satisfatoriamente o processo de secagem das sementes dos feijões biofortificados e não biofortificados, tanto cozido quanto germinado. A relação de tempo e temperatura pôde ser verificada claramente nos gráficos das curvas de secagem apresentados. Em relação ao tempo de secagem, as temperaturas de 60 e 70 °C foram as que necessitaram de menor tempo para que o produto atingisse o teor de água mínimo necessário. E, de modo geral, o tempo de secagem para os feijões germinados foi maior que para os feijões cozidos, tanto para o feijão biofortificado quanto para o não biofortificado.

Sugere-se, que a utilização da temperatura de secagem a 60 °C seria mais adequada, uma vez que, supostamente, pode demandar um menor gasto energético de processamento quando comparado à maior temperatura de secagem (70 °C), visto que houve uma pequena diferença no tempo de secagem entre ambas as temperaturas.

A temperatura de secagem interferiu apenas no teor de umidade e atividade de água das farinhas, o que era esperado uma vez que o objetivo principal deste processamento é a redução da quantidade de água do material com consequente redução da atividade biológica, como forma de conservação do alimento. Em relação às demais variáveis, a temperatura de secagem não teve efeito significativo nas farinhas dos feijões Estilo e Pontal, cozido ou germinado.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFONSO JÚNIOR, P. C.; CORRÊA, P. C. Comparação de modelos matemáticos para descrição da cinética de secagem em camada fina de sementes de feijão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 3, n. 3, p. 349-353, 1999.

ALEXANDRE, H. V.; GOMES, J. P.; NETO, A. L. B.; SILVA, F. L. H.; ALMEIDA, F. D. A. C. Cinética de secagem de abacaxi cv pérola em fatias. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 11, n. 2, p. 123-128, 2009.

ANDRADE, E. T. de; CORREA, P. C.; TEIXEIRA, L. P.; PEREIRA, R. G.; CALOMENI, J. D. F. Cinética de secagem e qualidade de sementes de feijão. **ENGEVISTA**, v. 8, n. 2, 2010.

AOAC - ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. Official Methods of Analysis of the Association of Official Agriculture Chemists. Washington, 2005.

ARAUJO, W. D.; GONELI, A. L.; SOUZA, C. D.; GONÇALVES, A. A.; VILHASANTI, H. C. Propriedades físicas dos grãos de amendoim durante a secagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande**, v. 18, n. 3, p. 279-286, 2014.

ASP. N. G.; CLAES, G. J.; HALLMER, H.; SILJESTRON, M. Rapid enzymatic assay of insoluble and soluble dietary fiber. **Journal of Agricultural and food chemistry**, v. 31, n. 3, p. 476-482, 1983.

BABALIS, S. J.; BELESSIOTIS, V. G. Influence of the drying conditions on the drying constants and moisture diffusivity during the thin-layer drying of figs. **Journal of Food Engineering**, v. 65, n. 3, p. 449-458, 2004.

BARAMPAMA, Z.; SIMARD, R. E. Effects of soaking, cooking and fermentation on composition *in vitro* starch digestibility and nutritive value of common beans. **Plant Foods For Human Nutrition**, v. 48, n. 4, p. 349-365, 1995.

BARAMPAMA, Z.; SIMARD, R. E. Oligossaccharides, antinutritional factors, and protein digestibility of dry beans as affected by processing. **Journal of Food Science**, v. 59, n. 4, p. 833-838, 1994.

BERNI, P. R. A., CANNIATTI-BRAZACA, S. G. Efeito da germinação e da sanitização sobre a composição centesimal, teor de fibras alimentares, fitato, taninos e disponibilidade de minerais em trigo. **Alimentos e Nutrição**, v. 22, n. 3, p. 407-420, 2011.

BODNAR, A.L.; PROULX, A.K.; SCOTT, M.P.; BEAVERS, A.; REDDY, M.B. Iron Bioavailability of Maize Hemoglobin in a Caco-2 Cell Culture Model. **Journal of Agricultural Food Chemistry**, v. 61, n. 30, 7349-7356, 2013.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Portaria nº 354, de 18 de julho de 1996. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 1996.

Acesso em: 17/10/16. Disponível em: <
http://www.anvisa.gov.br/anvisa/legis/portarias/354_96.htm>

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução - RDC nº 360, de 23 de dezembro de 2003. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 2003. Acesso em: 20/11/2016. Disponível em: <http://www.abic.com.br/publique/media/CONS_leg_resolucao360-03.pdf>

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Pesquisa de Orçamentos Familiares 2002-2003 – POF. Rio de Janeiro, RJ, 2004. Acesso em: 19/09/2015. Disponível em: <<http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv4472.pdf>>

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Pesquisa de Orçamentos Familiares 2008-2009 – POF. Rio de Janeiro, RJ, 2010. Acesso em: 19/09/2015. Disponível em: <<http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv45419.pdf>>

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Instrução Normativa nº 8, de 2 de junho de 2005. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 2005. Acesso em: 25/08/2016 Disponível em: <<http://www.cidasc.sc.gov.br/classificacao/files/2012/08/INM00000008.pdf>>

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Projeções do Agronegócio 2014/15 a 2024/25 – Projeções de longo prazo. 6ª edição, Brasília, DF, 2015. Acesso em: 16/04/2016. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/PROJECOES_DO_AGRONEGOCIO_2025_WEB.pdf>

BRIGIDE, P. **Disponibilidade de ferro em grãos de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) irradiados**. 2002. 71 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal de São Paulo, São Paulo, 2002.

BRIGIDE, P.; CANNIATT-BRAZACA, S. G.; SILVA, M. O. Nutritional characteristics of biofortified common beans. **Food Science and Technology**, v. 34, n. 3, p. 493-500, 2014.

BROOKER, D. B.; BAKKER-ARKEMA, F. W.; HALL, C. W. **Drying and storage of grains and oilseeds**. Springer Science & Business Media, 1992.

CARNEIRO, J. C. S.; MINIM, V. P. R.; SOUZA JÚNIOR, M. M.; CARNEIRO, J. E. S.; ARAÚJO, G. A. A. Perfil sensorial e aceitabilidade de cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 1, p. 18-24, 2005.

CARVALHO, D. C. O. de; ALBINO, L. F. T.; SANTIAGO, H.; ROSTAGNO, J. E. O.; JÚNIOR, J. G. V.; TOLEDO, R. S.; COSTA, C. H. R.; PINHEIRO, S. R. F.; SOUZA, R. M. de. Composição química e energética de amostras de milho submetidas a diferentes temperaturas de secagem e períodos de armazenamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 33, n. 2, p. 358-364, 2004.

CARVALHO, M. S. **Produção de polpa de abóbora em pó pelo processo de secagem em leito de espuma**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, 2014.

CASTIGLIONI, G. L.; SILVA, F. A. da; CALIARI, M.; JÚNIOR, M. S. S. Modelagem matemática do processo de secagem da massa fibrosa de mandioca. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 9, p. 987-994, 2013.

CHISTÉ, R. C.; COHEN, K. D. O.; MATHIAS, E. D. A.; RAMOA JUNIOR, A. G. A. Estudo das propriedades físico-químicas e microbiológicas no processamento da farinha de mandioca do grupo d'água. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 2, p. 265-269, 2007.

CORRÊA, PAULO C.; RESENDE, O.; MARTINAZZO, A. P.; GONELI, A. L.; BOTELHO, F. M. Modelagem matemática para a descrição do processo de secagem do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) em camadas delgadas. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 2, p. 501-510, 2007.

DÍAZ, J. A. M. **Modeling of grain dryers: thin layers to deep beds**. 2011. 88f. Dissertação (Mestrado em Bioresource Engineering), Universidade McGill, Montreal, Canadá, 2011.

DITCHFIELD, C. **Estudos dos métodos para a medida da atividade de água**. 2000. 195 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

DOYMAZ, İ.; İSMAIL, O. Drying characteristics of sweet cherry. **Food and Bioproducts Processing**, v. 89, n. 1, p. 31-38, 2011.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária: Method 3051A: Microwave Assisted Acid Digestion of Sediments, Sludges, Soils, and Oils. 2007. 30p.

FALADE, K. O.; SOLADEMI, O. J. Modelling of air drying of fresh and blanched sweet potato slices. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 45, n. 2, p. 278-288, 2010.

FOUST, A. S.; WENZEL, L. A.; CLUMP, C. W.; MAUS, L.; ANDERSEN, L. B. **Princípios das Operações Unitárias**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Ed. Guanabara Dois, 1982.

FRANCO, B. D. G. M.; LANDGRAF, M. **Microbiologia dos alimentos**. 1º ed. São Paulo: Atheneu, 2008.

GOKHALE, S. V.; LELE, S. S. Dehydration of red beet root (*Beta vulgaris*) by hot air drying: process optimization and mathematical modeling. **Food Science and Biotechnology**, v. 20, n. 4, p. 955-964, 2011.

GOMES, G. M. S.; REIS, R. C.; SILVA, C. A. D. T. da. Obtenção de farinha de feijão caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 14, n. 1, p. 31-36, 2012.

GOMES, J. C.; SILVA, C. O. A. da. Elaboração e análises físico-químicas de farinhas de feijão. **Revista Ceres**, v. 50, n. 292, p. 687-697, 2003.

GOMES, J. C.; SILVA, C. O. da; COSTA, N. M. B.; PIROZI, M. R. Desenvolvimento e caracterização de farinhas de feijão. **Revista Ceres**, v. 53, n. 309, p. 548-558, 2006.

GONZALES, G. C. A. Efecto del tratamiento térmico sobre el contenido de fibra dietética total, soluble e insoluble en algunas leguminosas. **Archivos Latinoamericanos de Nutricion**, v. 50, n. 3, p. 281-285, 2000.

GONZALEZ, A. P. G. **Lugar de médico é na cozinha**. 2ª Ed, São Paulo: Alaúde, 2011.

GUZMÁN-MALDONADO, S. H.; CASTELLANOS, J.; MEJÍA, E. G. Relationship between theoretical and experimentally detected tannin content of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Food Chemistry**, v. 55, n. 4, p. 333-335, 1996.

IBARZ, A.; BARBOSA-CANOVAS, G. V. **Unit operations in food engineering**. Crc Press, 2002.

JORGE, A. **Avaliação comparativa entre processos de secagem na produção de tomate em pó**. 2014. 70 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2014.

KHOKHAR, S.; CHAUHAN, B. M. Antinutritional factors in moth bean (*Vigna aconitifolia*): Varital differences and effects of methods of domestics processing and cooking. **Journal Food Science**, v. 51, n. 3, p. 591-594, 1986.

LAVELLI, V.; KERR, W.; HARSHA, P. S. C. S. Phytochemical stability in dried tomato pulp and peel as affected by moisture properties. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 61, n. 3, p. 700-707, 2012.

LEVY-COSTA, R. B.; SICHIERI, R.; PONTES, S. N.; MONTEIRO, C. A. Disponibilidade domiciliar de alimentos no Brasil: distribuição e evolução (1974-2003). **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v. 39, n. 4, p. 530-540, 2005.

LIN, L. Z.; HARNLY, J. M.; PASTOR-CORRALES, M. S.; LUTHRIA, D. L. The polyphenolic profiles of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Food chemistry**, v. 107, n. 1, p. 399-410, 2008.

LONDERO, P. M. G.; RIBEIRO, N. D. POERSCH, N. L.; ANTUNES, I. F., NORBERG, J. L. Análise de frações de fibra alimentar em cultivares de feijão cultivadas em dois ambientes. **Ciência Rural**, v. 38, n. 7, p. 2033-2036, 2008.

MADUREIRA, I. A.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; SILVA FILHO, E. D. Cinética de secagem da polpa do figo-da-índia. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 14, n. especial, p. 525-534, 2012.

MARQUEZI, M. **Características físico-químicas e avaliação das propriedades tecnológicas do feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.)**. 2013. 115 f. Dissertação. (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Programa de Pós-Graduação em Ciência dos

Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

MARTINEZ, P. C. C. **Efeito da radiação gama e do processo de germinação sobre as características nutricionais do feijão**. 2011. 218 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Escola Superior de Agricultura – “Luiz de Queiroz”, Universidade Federal de São Paulo, Piracicaba, 2011.

MORAIS, S. J. da S.; DEVILLA, I. A.; FERREIRA, D. A.; TEIXEIRA, I. R. Modelagem matemática das curvas de secagem e coeficiente de difusão de grãos de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 3, p. 455-463, 2013.

PARDESHI, I. L.; ARORA, S.; BORKER, P. A. Thin-layer drying of green peas and selection of a suitable thin-layer drying model. **Drying Technology**, v. 27, n. 2, p. 288-295, 2009.

PARK, K. J.; ANTONIO, G. C.; OLIVEIRA, R. D.; PARK, K. J. B. Conceitos de processo e equipamentos de secagem. **Campinas: Unicamp**, 2007.

PIN, K. Y.; CHUAH, T. G.; ABDULL-RASHIH, A.; LAW, C. L.; RASADAH, M. A.; CHOONG, T. S. Y. Drying of betel leaves (*Piper betle* L.): quality and drying kinetics. **Drying Technology**, v. 27, n. 1, p. 149-155, 2009.

PRICE, M. L.; HAGERMAN, A. E.; BUTLER, L. G. Tannin content of cowpeas, chickpeas, pigeon peas, and human mung beans. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 28, n. 2, p. 459-461, 1980.

QUEIROZ, A. J. de M.; DANTAS, H. J.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. de; MELO, K. dos S. Secagem solar de amêndoas de jaca. **Engenharia Agrícola**, v. 31, n. 6, 2016.

RAHMAN, M. S.; AL-SHAMSI, Q. H.; BENGTTSSON, G. B.; SABLANI, S. S.; AL-ALAWI, A. Drying kinetics and allicin potential in garlic slices during different methods of drying. **Drying Technology**, v. 27, n. 3, p. 467-477. 2009.

RAMIREZ-CÁRDENAS, L. R.; LEONEL, A. J.; COSTA, N. M. B. Efeito do processamento doméstico sobre o teor de nutrientes e de fatores antinutricionais de diferentes cultivares de feijão comum. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 1, p. 200-213, 2008.

SANTOS, C. T.; BONOMO, R. F.; CHAVES, M. A.; FONTAN, R. D. C. I.; BONOMO, P. Cinética e modelagem da secagem de carambola (*Averrhoa carambola* L.) em secador de bandeja. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 32, n. 3, p. 209-313, 2010.

SANTOS, D. da C.; QUEIROZ, A. J. D. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; OLIVEIRA, E. N. A. Cinética de secagem de farinha de grãos residuais de urucum. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 2, p. 223-231, 2013.

SATHE, S. K. Dry Bean Protein Functionality. **Critical Reviews in Biotechnology**, v. 22, n. 2, p. 175-223, 2002.

SCHOFIELD, P.; MBUGUA, D. M.; PELL, A. N. Analysis of condensed tannins: a review. **Animal Feed Science and Technology**, v. 91, n. 1, p. 21-40, 2001.

SHIVHARE, U. S.; ARORA, S.; AHMED, J.; RAGHAVAN, G. S. V. Moisture adsorption isotherms for mushroom. **LWT-Food Science and Technology**, v. 37, n. 1, p. 133-137, 2004.

SILVA, A. G.; ROCHA, L. C.; CANNIATTI BRAZACA, S. G. Caracterização físico-química, digestibilidade protéica e atividade antioxidante de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.). **Alimentos e Nutrição Araraquara**, v. 20, n. 4, p. 591-598, 2010.

SILVA, M. O.; BRIGIDE, P.; CANNIATTI-BRAZACA, S. G. Caracterização da composição centesimal e mineral de diferentes cultivares de feijão comum crus e cozidos. **Alimentos e Nutrição Araraquara**, v. 24, n. 3, p. 339-346, 2013.

TRUCOM, C. **De bem com a natureza: cuidando do seu filho com a alimentação viva**. 2ª Ed, São Paulo: Alaúde, 2012.

VALDÉS, S. T. **O efeito de genótipos de feijão e das formas usuais de preparo sobre a atividade antioxidante e a composição nutricional**. 2010. 103p. Dissertação (Mestrado em Nutrição), Programa de Pós-Graduação em Nutrição, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

VANIER, N. L. **Armazenamento de cultivares de feijão e seus efeitos na qualidade tecnológica dos grãos e nas propriedades do amido**. 2012. 91 f. Dissertação. (Mestrado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial), Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Agroindustrial, Universidade Federal de Pelotas, Rio Grande do Sul, 2012.

VAZ-TOSTES, M. G.; VEREDIANO, T. A.; MEJIA, E. G.; COSTA, N. M. B. Evaluation of iron and zinc bioavailability of beans targeted for biofortification using *in vitro* and *in vivo* models and their effect on the nutritional status of preschool children. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 95, n. 8, p. 1326-1332, 2016.

VIGANÓ, J. **Propriedades termodinâmicas de adsorção de água e cinética de secagem de subprodutos da industrialização de abacaxi (*Ananás comosus* L.): casca e cilindro central**. 2012. 89 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos), Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos, Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto, São Paulo, 2012.

WANDER, A. E.; SILVA, O. F.; BARRIGOSI, J. A. F.; FERREIRA, C. M.; LANNA, A. C.; MELO, L. C.; NICOLI, C. M. L.; SOARES, D. M.; OLIVEIRA, M. G. C.; SANTIAGO, C. M. Impactos econômicos, sociais e ambientais da cultivar de feijoeiro comum BRS Pontal na terceira safra no Brasil Central (2008 - 2010). **IV Reunião de Biofortificação**. Teresina, Piauí. 2011.

WAUGHON, T. G. M.; PENA, R. da S. Modelagem da secagem em camada delgada da fibra residual do abacaxi. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, v. 26, n. 2, p. 297-306, 2008.

WELCH, R. M.; HOUSE W. A.; BEEBE S.; CHENG Z. Genetic selection for enhanced bioavailable levels of iron in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seeds. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 48, n. 8, p. 3576-80, 2000.

YUCEL, U.; ALPAS, H.; BAYINDIRLI, A. Evaluation of high pressure pretreatment for enhancing the drying rates of carrot, apple, and green bean. **Journal of Food Engineering**, v. 98, p. 266–272, 2010.

CAPÍTULO II

**Caracterização físico-química de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.)
biofortificado e não biofortificado submetidos aos tratamentos de
cozimento e germinação**

Caracterização físico-química de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) biofortificado e não biofortificado submetidos aos tratamentos de cozimento e germinação

RESUMO

O feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é um dos alimentos mais tradicionais fazendo parte da alimentação básica dos brasileiros. É uma fonte rica de nutrientes, sendo uma das principais fontes de proteínas, fibras e minerais. Atualmente, programas de melhoramento genético estão desenvolvendo variedades de feijão biofortificado com ferro e zinco, ou seja, com maiores concentrações desses nutrientes. Por outro lado, o feijão possui muitos fatores antinutricionais, como ácido fítico e taninos, os quais limitam sua aceitação e digestibilidade. O processamento de leguminosas é uma forma de melhorar sua digestibilidade, tornando-os aptos para o consumo humano. Dentre as formas de processamento, o cozimento é a forma tradicional para o consumo de feijões. Porém outros métodos de processamento podem ser aplicados a fim de torná-los mais digeríveis, como a maceração e germinação. A germinação é uma forma de consumo de alimentos simples e econômica que vem sendo muito utilizada. O processo de germinação pode aumentar a disponibilidade de nutrientes como proteínas e minerais em sementes, uma vez que a germinação, ao despertar a dormência dos grãos, promove reações que levam à diminuição de fatores antinutricionais, tornando estes nutrientes mais biodisponíveis. Com isso, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito da germinação bem como do cozimento sobre as características físico-químicas de farinhas de feijão biofortificado e não biofortificado e verificar qual dos tratamentos seria mais eficiente para melhorar a qualidade nutricional dos feijões. A germinação mostrou-se mais eficiente uma vez que houve uma diminuição mais acentuada do conteúdo de taninos, além da melhoria no conteúdo de fibra solúvel, lipídeos e zinco. Ainda, foi observado que após a digestão *in vitro*, o conteúdo de ferro e zinco hidrolisado foi maior no feijão germinado quando comparado com o cozido. Com isso, a germinação de sementes para fins alimentícios se mostra benéfico uma vez que contribuiu para melhorar a qualidade nutricional dos feijões, com a diminuição de fatores antinutricionais e aumento da disponibilidade de nutrientes.

Palavra-chave: feijão, caracterização físico-química, germinação, fatores antinutricionais.

1. INTRODUÇÃO

O feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é um dos alimentos mais tradicionais na dieta alimentar dos brasileiros (GUZMÁN-MALDONADO *et al.*, 1996; RAMÍREZ-CÁRDENAS *et al.*, 2008). O Brasil é o terceiro maior produtor e o maior consumidor de feijão do mundo com o consumo médio anual de cerca de 3,5 milhões de toneladas (BRASIL, 2015).

É um alimento que apresenta grande importância na dieta humana por seu valor nutricional. O feijão fornece nutrientes essenciais como proteínas, carboidratos, fibras, vitaminas (principalmente complexo B) e minerais como ferro, cálcio, zinco, cobre e manganês (GUZMÁN-MALDONADO *et al.*, 1996; RAMÍREZ-CÁRDENAS *et al.*, 2008). É considerada a melhor fonte vegetal de ferro (não heme) (BRIGIDE, 2002) e proteínas (LAJOLO *et al.*, 1996), contribuindo para uma alimentação mais saudável principalmente em países menos desenvolvidos (BRIGIDE, 2002), onde o consumo da proteína animal é limitado por condições sociais, sejam elas econômicas, religiosas e/ou culturais (GEIL; ANDERSON, 1994; ROSTON, 1990).

Em contrapartida, o feijão contém alguns fatores indesejáveis ao seu consumo, os fatores antinutricionais que levam à diminuição de sua digestibilidade. Dentre eles encontram-se, principalmente, polifenóis e ácido fítico (MARTINEZ-DOMINGUEZ *et al.*, 2002; SATHE, 2002; MARTINEZ, 2011), sendo os taninos aqueles que mais contribuem para a baixa digestibilidade do feijão comum. A ação antinutricional de taninos e fitatos está baseada na capacidade de formar complexos insolúveis, especialmente, com minerais e proteínas, diminuindo assim sua biodisponibilidade (AMAROWICZ *et al.*, 2008).

Os feijões, assim como as demais leguminosas, necessitam de ser processados antes do seu consumo com o objetivo de melhorar sua digestibilidade através da diminuição de fatores antinutricionais (MARTÍN-CABREJAS *et al.*, 2009). O descascamento, a maceração, o cozimento e a germinação são métodos utilizados para melhoria da qualidade nutricional de leguminosas e cereais (KHOKHAR; CHAUHAN, 1986; BARAMPAMA; SIMARD, 1994; BARAMPAMA; SIMARD, 1995). A germinação de sementes é uma das formas de aumentar os níveis de nutrientes nos alimentos, como vitaminas e minerais, bem como a sua biodisponibilidade (KOEHLER *et al.*, 2007).

A germinação representa a retomada do ciclo de vida do grão que se inicia com a absorção de água pelas sementes, desencadeando uma série de reações bioquímicas (OLIVEIRA *et al.*, 2012) que contribuem para a redução de fatores antinutricionais, melhorando sua digestibilidade e potencializando a qualidade nutricional (AGUILERA *et al.*, 2013), bem como as propriedades funcionais do grão (SWIECA *et al.*, 2012). Essas modificações podem variar dependendo do tipo de vegetal, da variedade da semente e das condições de germinação, como tempo e temperatura (BAU *et al.*, 1997; DHALIWAL; AGGARWAL, 1999).

1.1. Objetivos

Dentro das perspectivas das modificações nutricionais que ocorrem com as sementes após o processamento de germinação, o trabalho teve como objetivo verificar os efeitos do processo de germinação e do cozimento sobre as características físico-químicas e nutricionais dos feijões (*Phaseolus vulgaris* L.) e avaliar qual dos tratamentos seria mais eficiente para melhorar sua qualidade nutricional.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado nos laboratórios de Operações Unitárias e Química de Alimentos do Departamento de Engenharia de Alimentos, no laboratório de Fisiologia e Nutrição Mineral de Plantas e no laboratório de Solos do Departamento de Produção Vegetal do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias (CCAUE/UFES) e no laboratório de Técnica Dietética do Departamento de Farmácia e Nutrição do Centro de Ciências Exatas, Naturais e da Saúde (CCENS/UFES) da Universidade Federal do Espírito Santo. As análises de ácido fítico foram realizadas no laboratório de Nutrição Experimental do Departamento de Nutrição e Saúde da Universidade Federal de Viçosa (UFV).

2.1. Matéria-prima e preparo das amostras

A matéria-prima utilizada foi o feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.), variedade carioca, cultivares BRS Pontal (biofortificado) e BRS Estilo (não biofortificado), provenientes do programa de melhoramento genético e rede de parceiros de desenvolvimento de cultivares de feijoeiro comum, liderada pela Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias (EMBRAPA - Arroz e Feijão), localizada em Goiânia-GO. Os grãos de feijão foram selecionados manualmente a fim de eliminar sujidades bem como qualquer tipo de contaminantes físicos, selecionando apenas os grãos íntegros.

Cozimento

Para o processo de cozimento, os grãos foram lavados em água corrente e macerados (1:3 p/v) durante 8 (oito) horas em água ultrapura. Após este período foram drenados e, posteriormente adicionados de água ultrapura na proporção de 1:2 p/v para o processo de cocção, realizado de forma caseira em panelas de pressão. Ao iniciar a pressão, os grãos foram cozidos por um período de 20 minutos em fogo baixo. A partir de testes preliminares, foi definida a metodologia para o cozimento dos feijões, garantindo assim, o cozimento dos grãos sem que sobrasse água residual. Todo o processo foi realizado com três repetições.

Germinação

Os grãos foram lavados em água corrente e, posteriormente macerados (1:3 p/v) em água ultrapura por 8 (oito) horas, período este que os grãos ficam imersos até se tornarem túrgidos, ou seja, despertar do grão de sua fase de latência, para dar início ao processo de germinação. Após esse período, foram drenados, retirando-se o excesso de água para então iniciar o período de germinação no ar (GONZALEZ, 2011; TRUCOM, 2012). Para isso, os feijões foram dispostos em bandejas de polietileno e levados à BOD com temperatura controlada (28 ± 2 °C) por um período de 48 horas. Os grãos foram umedecidos 2 vezes ao dia, no período da manhã e no final da tarde, de modo que a umidade relativa se mantivesse o mais

próximo de 100%, para garantir assim, altas taxas de germinação (BERNI; CANNIATTI-BRAZACA, 2011; GONZALEZ, 2011; TRUCOM, 2012). Todo o processo foi realizado com três repetições.

2.2. Obtenção da farinha

Para posteriores análises foi realizada a secagem do feijão por meio do método convencional em secadores convectivos (POLIDRYER[®]). Amostras de 200 gramas de feijão (cozido e germinado) foram dispostos em bandejas de aço inoxidável perfuradas. Em seguida, foram colocadas no secador a 60 °C e desidratadas até atingir massa constante. As bandejas foram giradas 180° a cada hora mudando-se a disposição das mesmas dentro do secador para que não ocorresse nenhuma interferência em relação à posição das bandejas durante o processamento, visando assim à homogeneidade na secagem. Ao final da secagem, os feijões foram acondicionados em sacos de polietileno, selados e, armazenados sob congelamento (-18 °C), ao abrigo da luz e umidade, até sua moagem em moinho de facas Tipo Willey (Marconi[®]) para o preparo das farinhas e posteriores análises físico-químicas.

Para a caracterização inicial de matéria-prima, obteve-se a farinha do feijão cru pela desintegração dos grãos de feijão em moinho de facas Tipo Willey (Marconi[®]), que foram armazenadas em sacos de polietileno, selados e mantidos em temperatura de congelamento (-18 °C) até o momento das análises.



Figura 1 – Fluxograma do preparo das amostras.

2.3. Análises Físico-Químicas

2.3.1. Composição centesimal

O teor de água foi determinado em estufa a 105 °C até peso constante, de acordo com procedimento padrão descrito pela AOAC (2005).

O teor total de nitrogênio foi quantificado pelo método de Kjeldahl, como descrito pela AOAC (2005), e o teor de proteína foi calculado multiplicando o resultado encontrado de nitrogênio pelo fator 6,25.

O teor de lipídeos foi determinado por extração em Soxhlet de acordo com o método descrito pela AOAC (2005), utilizando éter de petróleo como o solvente extrator.

O teor de cinzas foi determinado por incineração em mufla a 550 °C, conforme o método descrito pela AOAC (2005).

Carboidrato foi calculado por diferença, subtraindo-se a soma dos teores de lipídeos, proteínas, umidade, cinzas e fibras de 100, conforme metodologia descrita

pela Resolução RDC nº 360, de 23 de dezembro de 2003 da ANVISA (BRASIL, 2003).

O teor de fibras solúveis e insolúveis foi quantificado baseado na metodologia descrita por Asp e colaboradores (1983), utilizando-se álcool etílico e acetona como solventes.

2.3.2. Atividade de Água

A determinação da atividade de água (A_w) das farinhas foi realizada por meio de higrômetro eletrônico R tonic[®] (HygroLab) conforme descrito por Ditchfield (2000).

2.3.3. Minerais

O teor de ferro e zinco dos feijões foi determinado de acordo com o método 3051A da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2007). Pesou-se 0,5 gramas de amostra em tubo digestor (MARS Express), onde foi adicionado 10 mL de ácido nítrico P.A. (SIGMA[®]), que em seguida foi levado a uma pré-digestão com tubos abertos em capela, durante 15 minutos. Posteriormente, as amostras foram digeridas em micro-ondas MARS 6 (CEM Corporation[®]), envolvendo três passos:

- Rampa de temperatura de 25 minutos até 210 °C;
- Manutenção da temperatura por 15 minutos a 210 °C e;
- Descida de 15 minutos até temperatura ambiente.

Após a digestão, as amostras foram transferidas para balão volumétrico de 25 mL e o volume completado com água ultrapura. As amostras foram lidas em Espectrofotômetro de Absorção Atômica com chama (Thermo Scientific[®], modelo ICE 3000 Series).

2.3.4. Taninos

Os taninos foram analisados segundo metodologia descrita por Price e colaboradores (1980), através de extração com metanol e posterior reação colorimétrica com solução de vanilina e leitura a 500 nm em espectrofotômetro (BEL SP 2000 UV), obtendo-se assim a concentração de taninos a partir de uma curva padrão de catequina, sendo os resultados expressos em mg de catequina/g de feijão.

2.3.5. Ácido Fítico

O teor de ácido fítico foi analisado segundo metodologia descrita por Latta e Eskin (1980), com modificações por Ellis e Morris (1986), através de prévia extração com HCl 2,4%, e posterior passagem em coluna de troca iônica com fase estacionária constituída por resina Dowex- AGX-4. A coluna foi pré-condicionada com NaCl 2 M e o extrato obtido foi aplicado cuidadosamente à mesma. Os fósforos inorgânicos foram eluídos com NaCl 0,05 M, seguida da eluição dos fitatos retidos com NaCl 2 M. O fitato foi determinado colorimetricamente, com base na coloração rósea do reagente de Wade que é formado a partir da reação entre o íon férrico e o ácido sulfosalicílico. Na presença de fitato, o ferro é sequestrado e indisponível para reagir com o ácido sulfosalicílico, resultando em redução da intensidade da cor. Foi elaborada uma curva padrão de Fitato de Sódio (Sigma[®]), com concentrações de 100, 75, 50, 25 e 10 µg/mL. A leitura foi realizada por espectrofotometria em aparelho ELISA (Thermo Scientific[®], modelo Multiskan GO) a 500 nm.

2.4. Razão Molar

A disponibilidade de ferro e zinco foi estimada por meio das razões molares entre o ácido fítico e os minerais das amostras, tendo como critério o valor crítico, descrito na literatura para essas razões (SAHA *et al.*, 1994; WHO, 1996;

LESTIENNE *et al.*, 2005). A biodisponibilidade dos minerais é inversamente proporcional à sua razão molar (Ácido fítico:Elemento) e possibilita classificar o tipo de dieta consumida como de baixa média ou alta biodisponibilidade (LESTIENNE *et al.*, 2005).

2.5. Digestibilidade *in vitro*

O procedimento da digestão *in vitro* para a quantificação de ferro e zinco hidrolisado foi realizado segundo a metodologia descrita por Megías *et al.* (2009), em que utiliza-se as enzimas pepsina e pancreatina, simulando a digestão gastrointestinal.

Primeiramente, adicionou-se 9,5 mL de água ultrapura à amostra (0,5 g) e em seguida o pH do meio foi justado para 2,0 com solução de HCl 0,1 N. Então, adicionou-se 0,0075 g de pepsina (Sigma®) a fim de simular a digestão gástrica. Posteriormente, as amostras foram incubadas em banho-maria a 37 °C sob agitação durante 2 horas. Em seguida, para simular a digestão intestinal, o pH foi ajustado para 7,5 com solução de NaOH 0,1 N e adicionou-se 0,0075 g de pancreatina (Sigma®), que em meio básico é ativada. Em seguida as amostras foram novamente incubadas em banho-maria a 37 °C, sob agitação durante 2 horas. Após a digestão gastrointestinal as enzimas foram inativadas por meio de tratamento térmico, onde foram incubadas a 75 °C durante 20 minutos em banho-maria. As amostras foram resfriadas e, em seguida centrifugadas a 5500 rpm a 4 °C durante 25 minutos, para a separação da fração solúvel e residual. A fração solúvel foi armazenada a -80 °C e posteriormente liofilizada para a quantificação de ferro e zinco hidrolisáveis, segundo o método 3051A da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2007).

2.6. Análise Estatística

O presente experimento foi realizado em um delineamento inteiramente casualizado (D.I.C) e esquema fatorial 2x2 com 2 níveis para o fator tipo de feijão (BRS Estilo e BRS Pontal) e 2 níveis para o fator processamento (cozido e germinado), em duplicata e com três repetições. Tendo como variável resposta a composição centesimal, conteúdo de minerais (ferro e zinco), bem como ferro e zinco hidrolisados e teor de fatores antinutricionais (ácido fítico e taninos).

Para a análise estatística dos dados foi realizada Análise de Variância (ANOVA) por meio do software Statística (versão 10.0) a 5% de significância.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Caracterização físico-química dos feijões biofortificado e não biofortificado

A composição química das cultivares de feijão cru (Pontal e Estilo) está representada na Tabela 1.

Tabela 1 – Composição físico-química dos feijões Pontal e Estilo cru, em base seca.

	Feijão	
	Pontal	Estilo
Umidade (%)	12,65 ^a	10,68 ^a
Cinzas (%)	4,42 ^a	4,13 ^b
Proteína (%)	25,70 ^a	21,57 ^b
Lipídeos (%)	1,06 ^a	1,46 ^a
Carboidrato utilizável (%)	44,42 ^a	49,08 ^b
Fibra Insolúvel (%)	24,41 ^a	23,76 ^a
Fibra Solúvel (%)	8,01 ^a	6,75 ^b
Tanino (mg catequina/g)	18,77 ^a	16,07 ^b
Ácido Fítico (mg/g)	6,97 ^a	6,05 ^a
Ferro (mg/kg)	77,15 ^a	59,24 ^b
Zinco (mg/kg)	43,92 ^a	40,32 ^a

Médias seguidas pela mesma letra, em uma mesma linha, não diferem entre si ($p > 0,05$) pelo teste t.

Observam-se diferenças entre as cultivares cruas apenas em relação ao teor inicial de cinzas, proteínas, carboidratos utilizáveis, fibra solúvel, taninos e conteúdo de ferro. O conteúdo de nutrientes de uma planta é dependente da variedade e da cultivar, podendo ainda, variar devido às condições de cultivo, da localidade de cultivo em função de fatores climáticos bem como práticas de cultivo (MARQUEZI, 2013; BRIGIDE *et al.*, 2014).

O teor de umidade dos grãos crus não diferiu estatisticamente entre si, porém o teor de água pode variar em função do tempo no processo de secagem do grão recém-colhido ou até mesmo em função do teor de umidade no momento da colheita (SILVA *et al.*, 2010).

O feijão BRS Pontal cru apresentou maior teor de cinzas em relação ao Estilo. Fato este, possivelmente devido ao conteúdo mineral do primeiro uma vez que a cultivar BRS Pontal é melhorada geneticamente, a fim de se obter um maior conteúdo de minerais (ferro e zinco) (WELCH *et al.*, 2000; HOUSE *et al.*, 2002). Os valores de cinzas dos feijões (4,42 e 4,13%) são semelhantes aos de Vanier (2012), que ao estudar diferentes cultivares de feijões, dentre elas Pontal e Estilo, observaram os teores de cinzas de 4,11 e 3,93%, respectivamente. Resultados

semelhantes também a outros estudos, em que variaram de 4,95 a 3,36% para cultivares de feijão biofortificados bem como os não biofortificados (RAMIREZ-CÁRDENAS *et al.*, 2008; SILVA *et al.*, 2010).

O feijão é uma excelente fonte de proteína, fibras, principalmente as insolúveis, e carboidratos. Brigide e colaboradores (2014) relatou uma variação de 23 a 31% de proteínas, em feijões crus. Marquezi (2013) ao trabalhar com seis diferentes cultivares de feijão, dentre eles o vermelho, o carioca e o preto observou uma variação de 18 a 25%, evidenciando mais uma vez o elevado teor de proteína do feijão, sendo considerada uma das melhores fontes de proteína vegetal dentre as leguminosas. Saha *et al.* (2009), estudaram trinta e cinco diferentes genótipos de *Phaseolus vulgaris* L. e o teor de proteína variou de 18,66 a 26,17% nos feijões crus. O teor de proteína pode variar de acordo com o local de origem e os fatores climáticos que também podem influenciar na composição nutricional (MARQUEZI, 2013).

O feijão é considerado a melhor fonte vegetal de ferro (não heme) (BRIGIDE, 2002), assim como foi demonstrado no presente trabalho em que os feijões apresentaram conteúdo elevado do mineral. Pode-se perceber que a biofortificação está produzindo aumentos significativos nas concentrações de ferro dos feijões. A cultivar biofortificada (BRS Pontal), apresentou um maior teor de ferro (77,15 mg/kg), enquanto a cultivar BRS Estilo apresentou uma menor concentração (59,24 mg de ferro/kg de feijão).

O conteúdo de taninos também foi diferente entre os tipos de feijão. A cultivar Pontal apresentou maiores teores, 18,77 mg de catequina/g de feijão, enquanto a cultivar Estilo apresentou 16,07 mg de catequina/g. O conteúdo de fatores antinutricionais pode variar de acordo com o local, fatores climáticos bem como a variedade, uma vez que são fatores de defesa para as plantas (MARQUEZI, 2013; BRIGIDE *et al.*, 2014).

3.2. Caracterização físico-química das farinhas de feijão cozido e germinado

A Tabela 2 a seguir apresenta o valor F e valor p da análise de variância dos efeitos do tipo de feijão e tipo de processamento (cozimento e germinação), bem como da interação para as diferentes variáveis respostas.

Tabela 2 – Valores F e p da análise de variância para os efeitos principais e interação para as variáveis respostas analisadas

	Tipo de Feijão		Tipo de Processamento		Feijão x Processamento	
	F	p	F	p	F	p
a_w	114,4*	0,000005	260,13*	0,000000	469,62*	0,000000
Umidade	1,707 ^{ns}	0,228	0,155 ^{ns}	0,704	1,923 ^{ns}	0,203
Tanino	0,024 ^{ns}	0,881	12,603*	0,0075	0,987 ^{ns}	0,350
Proteínas	69,18*	0,000033	1,38 ^{ns}	0,274	0,80 ^{ns}	0,396
Lipídeos	20,70*	0,0019	13,36*	0,0064	0,492 ^{ns}	0,503
Cinzas	11,312*	0,0099	3,647 ^{ns}	0,0926	0,034 ^{ns}	0,858
Fibra insolúvel	3,37 ^{ns}	0,104	6,25*	0,037	0,19 ^{ns}	0,671
Fibra solúvel	68,844*	0,00003	1,265 ^{ns}	0,293	0,502 ^{ns}	0,499
Carboidrato	33,18*	0,00424	5,90*	0,0413	0,18 ^{ns}	0,683
Carboidrato utilizável	25,72*	0,00096	8,97*	0,017	0,28 ^{ns}	0,614
Ferro	97,88*	0,0000009	3,989 ^{ns}	0,081	2,522 ^{ns}	0,151
Ferro hidrolisado	2,7478 ^{ns}	0,1727	22,019*	0,0094	1,682 ^{ns}	0,264
Zinco	2,173 ^{ns}	0,179	9,394*	0,015	0,596 ^{ns}	0,462
Zinco hidrolisado	0,1366 ^{ns}	0,730	41,734*	0,003	1,7819 ^{ns}	0,283
Fitato	0,0351 ^{ns}	0,856	0,0702 ^{ns}	0,798	0,0645 ^{ns}	0,806

*: Significativo ($p < 0,05$); ^{ns}: Não significativo ($p > 0,05$) pelo teste F.

De acordo com a Tabela 2, nota-se que para a variável atividade de água (A_w), os fatores tipo de feijão e tipo de processamento foram significativos, assim como a interação entre esses dois fatores, indicando que o tipo de feijão e o tipo de processamento influenciam de forma significativa sobre essas variáveis e que a influência de um fator depende do nível do outro fator, portanto faz-se necessário o desdobramento de um fator dentro do outro. A Tabela 3 a seguir apresenta as médias de atividade de água com os respectivos desvios padrão para os diferentes tipos de feijão e diferentes tipos de processamento.

Tabela 3 - Médias e desvio padrão do teor de Atividade de Água (A_w) das farinhas de feijão Pontal cozido e germinado e Estilo cozido e germinado.

	Média \pm desvio padrão	
	Pontal	Estilo
Cozido	0,24 ^{aA} \pm 0,008	0,13 ^{bA} \pm 0,005
Germinado	0,18 ^{aB} \pm 0,001	0,53 ^{bB} \pm 0,019

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula, em uma mesma linha, não diferem entre si ($p > 0,05$) pelo teste F.

*Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, em uma mesma coluna, não diferem entre si ($p > 0,05$) pelo teste F.

A atividade de água está relacionada com o desenvolvimento de microrganismos nos alimentos, como fungos e leveduras (FRANCO; LANDGRAF, 2008). Considera-se a atividade de água igual a 0,60 como sendo o limite mínimo capaz de permitir o desenvolvimento de microrganismos daí o fato dos alimentos desidratados, como a farinha de feijão, serem considerados como microbiologicamente estáveis (CHISTÉ *et al.*, 2007). As farinhas do presente estudo apresentaram os valores de atividade de água inferiores, variando de 0,13 a 0,53, estando, portanto, de acordo com o recomendado. A farinha de feijão da cultivar BRS Estilo germinado foi a que apresentou uma maior atividade de água. As atividades de água detectadas revelam que as sementes dos cultivares testados apresentaram composições químicas diferentes (FRANCISCO *et al.*, 2007).

Em relação ao teor de água e o teor de ácido fítico das farinhas, nenhum dos efeitos foi significativo, ou seja, os valores das médias dessas variáveis podem ser

considerados iguais para as farinhas obtidas dos dois tipos de feijões, Estilo e Pontal, e submetidas aos dois tipos de processamento, cozimento ou germinação. A Tabela 4 apresenta os valores médios dessas variáveis, com seus respectivos desvios padrão.

Tabela 4 – Médias \pm desvio padrão dos teores de umidade (%) e Ácido Fítico (mg/g) em base seca.

Variável	Média \pm desvio padrão
Umidade (%)	4,58 \pm 1,50
Ácido Fítico (mg/g)	5,79 \pm 1,01

Ainda é inexistente uma resolução específica para caracterizar farinhas de feijão. No presente estudo a farinha obtida apresentou um teor de umidade médio de 4,58%. Gomes e Silva (2003) relatam que o teor de água de farinhas de feijão abaixo de 10% representa um importante índice de qualidade do produto, uma vez que resulta em maior estabilidade do produto em relação às características químicas e microbiológicas. Gomes e colaboradores (2012) relataram que um teor de umidade da farinha de feijão em torno de 14% está dentro da legislação vigente para ser um produto caracterizado como farinha. De acordo com a legislação brasileira que regulamenta as normas técnicas das farinhas de trigo, o teor de umidade recomendado é de 14%, sendo o limite máximo permitido de 15% (BRASIL, 1996; BRASIL, 2005). Visto que teores mais elevados de umidade podem promover alterações nas propriedades físicas e químicas do produto, como a aglomeração de partículas e o aumento das velocidades de reações químicas e consequentes alterações indesejáveis do produto (LAVELLI *et al.*, 2012; JORGE, 2014). Portanto, o teor de umidade da farinha obtida no presente estudo está de acordo com a legislação vigente.

Em relação ao teor de ácido fítico das farinhas de feijão, não houve qualquer efeito do processamento, bem como do tipo de feijão, ou seja, a farinha de feijão cozido possui um teor de ácido fítico que não difere do teor de farinha de feijão germinado, para os feijões Estilo ou Pontal. Assim como a farinha de feijão Estilo possui um teor de ácido fítico que não difere do teor de farinha de feijão Pontal, após

passarem pelos processamentos de cozimento ou germinação. Porém sabe-se que durante o processamento, o ácido fítico pode ser parcialmente desfosforilado produzindo hexafosfato de inositol (IP6), pentafosfato (IP5), tetrafosfato (IP4), trifosfato (IP3) e, possivelmente, inositol difosfato (IP2) e monofosfato (IP1) (SILVA; SILVA, 1999). Somente o IP6 e IP5 possuem efeito negativo na biodisponibilidade de minerais, como zinco e ferro (LOMBARDI-BOCCIA *et al.*, 1998; BONETT *et al.*, 2007), os demais compostos formados têm baixa capacidade de ligar-se a minerais. O grau de ação inibitória na absorção mineral dependerá do grau de fosforilação dos fosfatos de inositol (HAN *et al.*, 1994).

Ramirez-Cárdenaz e colaboradores (2008) observaram uma redução do conteúdo de IP6 e um aumento de IP5, IP4, IP3, após o cozimento sem a água de maceração, por isso a importância de determinar os produtos de sua hidrólise (SILVA; SILVA, 1999). Esses resultados demonstram que a quantificação dos inositol fosfatos é de importância nutricional, uma vez que a ingestão de altos níveis deste fator antinutricional pode estar associada a efeitos nutricionais adversos, como a diminuição da biodisponibilidade de minerais e inibição de determinadas enzimas (MARTINEZ-DOMINGUEZ *et al.*, 2002). Em relação ao processo de germinação, Martinez (2011) ao avaliar o processo de germinação de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) não encontrou diferença significativa no conteúdo de ácido fítico nos tempos zero (controle), 72 e 96 horas de germinação. Por outro lado, Sangronis e Machado (2007), ao estudarem a germinação por um período de 120 horas, observaram uma redução significativa no conteúdo de ácido fítico de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.), como efeito da germinação. Em contrapartida, um estudo realizado por Luo *et al.*, (2009), onde avaliaram o efeito da hidratação e da germinação de feijões fava (*Vicia faba* L.), verificaram uma redução significativa de ácido fítico com a evolução do processo (2, 4, 6, 8 e 12 horas de hidratação e 24, 48, 72, 96 e 120 horas de germinação). A redução do conteúdo de ácido fítico na semente é uma consequência do aumento da atividade da enzima fitase durante o processo germinativo (BAU *et al.*, 1997) e, o que acontece com os produtos de sua hidrólise irá depender da leguminosa e das condições oferecidas durante o processo germinativo (TRUGO *et al.*, 2000; VIDAL-VALVERDE *et al.*, 2002). Além disso, também pode ocorrer a lixiviação dos íons fitatos na água de maceração dos grãos (KHOKHAR; CHAUHAN, 1986; OLIVEIRA *et al.*, 2001). No presente estudo, a germinação foi de 48 horas, o que pode não ter sido o suficiente para redução

significativa, para se comparar ao efeito do cozimento sobre o teor de fitatos nas sementes de feijão, uma vez que a máxima atividade da enzima fitase pode ocorrer entre o quinto e o oitavo dia de germinação das sementes (AGOSTINI; IDA, 2006).

Em relação aos teores de proteínas, cinzas, fibra solúvel e ferro apenas o fator tipo de feijão foi significativo, indicando que o tipo de processamento não influencia de forma significativa sobre essas variáveis e o tipo de feijão influencia de forma significativa, independente do tipo de processamento. A Tabela 5 apresenta as médias dessas variáveis com os respectivos desvios padrão para os diferentes tipos de feijão.

Tabela 5 – Médias \pm desvio padrão dos teores de proteínas, cinzas, fibra solúvel e ferro das farinhas de feijão Pontal e Estilo, em base seca.

Variável	Média \pm desvio padrão	
	Pontal	Estilo
Proteínas (%)	25,40 \pm 0,16	21,90 \pm 0,39
Cinzas (%)	4,20 \pm 0,11	3,73 \pm 0,10
Fibra solúvel (%)	7,19 \pm 0,10	6,05 \pm 0,09
Ferro (mg/Kg)	85,26 \pm 2,45	60,27 \pm 1,81

O feijão é um dos vegetais mais ricos em proteína e é considerada uma das melhores fontes de proteína vegetal dentre as leguminosas (BRIGIDE *et al.*, 2014; MARQUEZI, 2013). O conteúdo deste nutriente varia, principalmente, com a variedade da semente bem como e os fatores climáticos e de cultivo (SAHA *et al.*, 2009; MARQUEZI, 2013). Vanier (2012), ao avaliar diferentes variedades de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.), dentre elas BRS Pontal e BRS Estilo, relataram um menor teor de proteínas na cultivar Estilo (21,07%), enquanto que a cultivar Pontal apresentou um teor de 23,99%, resultados estes semelhantes ao presente estudo, em que o teor de proteína foi de 21,90 e 25,4% no feijão Estilo e Pontal, respectivamente (Tabela 5). Os resultados demonstram que a germinação de 48 horas não foi eficiente para aumentar o teor de proteínas quando comparada ao processo de cozimento. Brigide e colaboradores (2014) não encontrou variação do teor de proteína com o processo de maceração e cozimento. Por outro lado,

Martinez (2011), relatou um aumento significativo de proteína em feijões (*Phaseolus vulgaris* L.) germinados nos tempos de 72 e 96 horas. A germinação melhora a qualidade proteica em leguminosas, podendo ser atribuída à redução parcial ou completa de diferentes fatores antinutricionais. Uma vez que o ácido fítico e os taninos condensados interagem com moléculas de proteínas, formando complexos que reduz sua suscetibilidade à ação enzimática para digestão (ALONSO *et al.*, 2000). A diminuição desses fatores antinutricionais leva então ao consequente aumento da disponibilidade de proteínas (SANGRONIS; MACHADO, 2007).

Em relação ao teor de cinzas, as cultivares estudadas apresentaram diferença estatística no seu conteúdo, o feijão Estilo apresentou uma média de 3,73% de cinzas, já o Pontal apresentou 4,20% (Tabela 5). Vanier (2012) encontrou resultados semelhantes ao estudar essas variedades, onde a cultivar Estilo continha 3,93% de cinzas em sua composição e 4,11% na cultivar Pontal. Apesar do teor de cinzas não ter sido significativo em reação ao tipo de processamento, Martinez (2011) encontrou diminuição do conteúdo de cinzas com o processo de germinação que pode ser devido à lixiviação de sais minerais para a água de maceração. Por outro lado, Machado *et al.* (2009), ao analisar três espécies de leguminosas, observou um aumento do teor de cinzas com a germinação. Em relação ao efeito do cozimento, há relatos de que o processo de cozimento sem a água de maceração diminui o conteúdo de cinzas de feijões comum, também como consequência da lixiviação (RAMIREZ-CÁRDENAZ *et al.*, 2008).

O processamento também não influenciou o teor de ferro das farinhas de feijão (Tabela 5), ou seja, a farinha de feijão cozido possui um teor de ferro que não difere de farinha de feijão germinado, para os feijões Estilo e Pontal. Sangronis e Machado (2007) observaram uma diminuição no teor de ferro como efeito da germinação por 120 horas. Ramirez-Cárdenaz e colaboradores (2008) relataram uma diminuição do conteúdo de ferro após o cozimento dos grãos com água de maceração. Estes resultados possivelmente são consequência da imersão dos grãos em água antes do processamento e lixiviação dos mesmos (SANGRONIS; MACHADO, 2007). Em relação às cultivares, sabe-se que a variedade BRS Pontal é uma cultivar biofortificada, apresentando teor mais elevado de ferro comparado aos correspondentes tipos convencionais (MINGUITA *et al.*, 2015). Porém segundo Vaz-Tostes e colaboradores (2016) os teores de ferro da cultivar BRS Pontal ainda não haviam alcançado patamares desejáveis em feijões. Os resultados do presente

estudo são promissores e apontam para o alcance da biofortificação, uma vez que a cultivar Pontal apresentou um teor elevado de ferro (85,26 mg/kg de feijão), enquanto na cultivar convencional, Estilo (não biofortificada), este teor foi bem inferior (60,27 mg de ferro/kg de feijão).

O teor de fibra solúvel não foi influenciado pelo tipo de processamento e sim pelo tipo de feijão, ou seja, a farinha de feijão cozido possui um teor de fibra solúvel que não difere da farinha de feijão germinado, para os feijões Estilo e Pontal (Tabela 5). Porém, a germinação tem demonstrado mudanças positivas na composição de fibras dietéticas totais (HUNG *et al.*, 2012; DUEÑAS *et al.*, 2016), insolúveis (BERNI; CANNIATTI-BRAZACA, 2011; DUEÑAS *et al.*, 2016) e solúveis (CHANG *et al.*, 2006; MARTÍN-CABREJAS *et al.*, 2008; BERNI; CANNIATTI-BRAZACA, 2011), como consequência, principalmente, de reações metabólicas sofridas pelas sementes durante a germinação (DUEÑAS *et al.*, 2016).

Para os teores de tanino, fibra insolúvel, ferro hidrolisado, zinco e zinco hidrolisado, apenas o fator tipo de processamento foi significativo, indicando que o tipo de feijão não influencia de forma significativa sobre essas variáveis e o tipo de processamento influencia de forma significativa, sendo esta influência independente do tipo de feijão. A Tabela 6 apresenta as médias dessas variáveis com os respectivos desvios padrão para os diferentes tipos de processamento.

Tabela 6 – Médias \pm desvio padrão dos teores de tanino, fibra insolúvel, ferro hidrolisado, zinco e zinco hidrolisado das farinhas de feijão cozido e germinado, em base seca.

Variável	Média \pm desvio padrão	
	Cozido	Germinado
Fibra insolúvel (%)	24,50 \pm 0,22	25,46 \pm 0,35
Tanino (mg catequina/g)	1,48 \pm 0,07	0,95 \pm 0,12
Ferro hidrolisado (mg/kg)	14,73 \pm 2,34	24,87 \pm 1,05
Zinco (mg/kg)	37,17 \pm 0,64	40,30 \pm 0,85
Zinco hidrolisado (mg/kg)	16,31 \pm 1,68	31,83 \pm 1,69

No presente estudo foi observado que o processo de germinação obteve maior conteúdo de fibras insolúveis (25,46%), quando comparado ao cozimento (24,50%) (Tabela 6). Dueñas e colaboradores (2016) encontraram diferenças significativas nos teores de fibras com a germinação, que resultou em um aumento no teor de fibra insolúvel e fibras totais em grãos de feijão. Por outro lado, não encontraram diferença nos teores de fibras solúveis com o processamento. Em contrapartida, outros autores têm demonstrado um aumento no conteúdo de fibras solúveis como consequência do processo de germinação (CHANG *et al.*, 2006; MARTÍN-CABREJAS *et al.*, 2008). Koehler *et al.* (2007), ao avaliar o efeito do tempo e temperatura da germinação de trigo (*Triticum* spp.), observaram diminuição de fibra alimentar total nas primeiras 48 horas de germinação em todas as temperaturas avaliadas, aumentando consideravelmente após 102 horas. Além disso, não houve alteração da concentração de fibra alimentar solúvel nas primeiras 96 horas de germinação e o teor de fibras insolúveis diminuiu com o decorrer da germinação. Os efeitos do processo de germinação nas sementes podem ser muito particulares e variar de acordo com as espécies e variedades, bem como com as condições de germinação (KOEHLER *et al.*, 2007).

Uma das principais consequências da germinação é a redução do conteúdo de compostos que interferem na disponibilidade de alguns nutrientes, como os fatores antinutricionais, principalmente em leguminosas (PROM-U-THAI *et al.*, 2006; GHAVIDEL; PRAKASH, 2007; WEI *et al.*, 2013). Assim como o processo de cozimento, que também tem papel fundamental para a melhoria da digestibilidade de leguminosas, promovendo a redução desses fatores (RAMIREZ-CÁRDENAZ, 2008).

A germinação foi mais eficaz em relação ao conteúdo de taninos dos feijões (0,95 mg catequina/g) uma vez que a redução foi mais acentuada quando comparada ao processo de cozimento (1,48 mg catequina/g) (Tabela 6). Martinez *et al.*, (2011) ao estudar grãos de soja germinados por 48 horas, encontrou uma redução nos teores de taninos em cerca de 23% após a germinação. Shimelis e colaboradores (2007) também observaram redução do conteúdo de taninos em feijões germinados. De acordo com os autores, esta diminuição foi devido à formação de ligações hidrofóbicas de taninos com as proteínas da semente e enzimas. Além disso, os autores citam que a perda de taninos durante o processo de germinação pode ser devido à lixiviação deste antinutriente na água de imersão, que também contribui para sua redução. Durante o processo de germinação também

ocorre a oxidação de polifenóis levando à hidrólise enzimática de taninos condensados (SANGRONIS; MACHADO, 2007; GHAVIDEL PRAKASH, 2007), levando assim à sua redução do seu conteúdo nas sementes.

Além disso, a variação do conteúdo de taninos em sementes germinadas está relacionada ao tempo de germinação, sendo inversamente proporcionais, ou seja, com a evolução do tempo de germinação ocorre a diminuição do teor de taninos nas sementes. Segundo Oloyo (2004), o teor de taninos em leguminosas diminui após 2 dias de germinação chegando ao seu nível mínimo e, após o quinto dia seus teores elevam-se. Estima-se que essa redução possa chegar a aproximadamente 100% após 72 horas de germinação em feijões (MARTINEZ, 2011). Esses resultados, assim como os encontrados no presente estudo, confirmam que a germinação pode ser uma alternativa para o consumo de feijões, tornando-os mais digeríveis, contribuindo para a melhoria de sua qualidade nutricional. A diminuição de taninos é muito favorável uma vez que este composto tem a capacidade de formar complexos com proteínas, reduzindo drasticamente sua digestibilidade (PINO; LAJOLO, 2003; MECHI *et al.*, 2005). Além disso, os taninos também diminuem a biodisponibilidade de vitaminas e minerais (HEMALATHA *et al.*, 2007). A germinação de sementes, portanto, é uma das formas de aumentar os níveis de nutrientes nos alimentos, como vitaminas e minerais, bem como a sua biodisponibilidade (KOEHLER *et al.*, 2007).

Ainda que o cozimento e a germinação não tenham influenciado no conteúdo de ferro dos feijões, após a digestão *in vitro* este resultado foi diferente. O efeito da germinação sobre o conteúdo de ferro hidrolisado, ou seja, aquilo que foi digerido e está apto para ser absorvido, foi positivo. O processo de germinação promoveu uma melhor digestão *in vitro* de ferro (24,87 mg/kg) quando comparado com o cozimento (14,73 mg/kg). Hemalatha *et al.* (2007), encontraram uma melhoria da disponibilidade *in vitro* de ferro como efeito da germinação por 24 e 48 horas. Este fato também pode ser explicado devido à redução do conteúdo de fatores antinutricionais, como taninos, como efeito do processo germinativo, que torna o feijão mais digerível (HEMALATHA *et al.*, 2007; SANGRONIS; MACHADO, 2007).

Em relação ao conteúdo de zinco das farinhas de feijão, o feijão germinado apresentou um teor de 40,3 mg/kg, enquanto o feijão cozido obteve um menor teor (37,17 mg/kg), assim como o conteúdo de zinco hidrolisado, onde esta diferença foi ainda mais relevante, 31,83 mg de zinco/kg de feijão germinado contra 16,31 mg de

zinco/kg de feijão cozido. Esses resultados demonstram que a germinação foi mais eficiente, uma vez que preservou mais o conteúdo deste mineral. Sangronis e Machado (2007) observaram um aumento significativo no teor de zinco de feijões como efeito da germinação durante 120 horas quando comparados aos grãos crus. Porém a literatura apresenta contradições nos teores de zinco em feijões germinados. Martinez (2011) ao estudar o processo de germinação de feijões comum (*Phaseolus vulgaris* L.), não encontrou diferença significativa em relação ao conteúdo de zinco nos tempos 0 (controle), 72 e 96 horas de germinação.

Os resultados obtidos para os teores de lipídeos e carboidratos demonstraram que os fatores tipo de feijão e tipo de processamento foram significativos, mas a interação foi não significativa indicando que o tipo de feijão e o tipo de processamento influenciam de forma significativa sobre essas variáveis e que a influência de um fator independe do nível do outro fator, não havendo necessidade de desdobramento de um fator dentro do outro. As tabelas 7 e 8 a seguir apresentam as médias dessas variáveis com os respectivos desvios padrão para os diferentes tipos de feijão e tipos de processamento, respectivamente.

Tabela 7 - Média \pm desvio padrão dos teores de lipídeos e carboidrato utilizável das farinhas de feijão BRS Pontal e BRS Estilo, em base seca.

Variável	Feijão	
	Pontal	Estilo
Lipídeos (%)	1,00 \pm 0,18	1,75 \pm 0,16
Carboidrato utilizável (%)	44,07 \pm 0,55	47,99 \pm 0,85

O feijão não é boa fonte de lipídeos e seu teor varia de uma variedade para outra (RAMIREZ-CÁRDENAZ, 2008; VANIER, 2012). No presente estudo esses teores variaram conforme a variedade, a cultivar Pontal apresentou um teor de 1,00% enquanto na cultivar Estilo o teor de lipídeos foi de 1,75%.

Diversos estudos observaram uma diminuição do conteúdo de lipídeos e carboidratos com o decorrer do processo germinativo (BAU *et al.*, 1997; VILAS BOAS *et al.*, 2002; MARTINEZ 2011). Martinez (2011) relatou uma diminuição do conteúdo de lipídeos e carboidratos com o decorrer do processo de germinação em

72 e 96 horas. Essa diminuição é atribuída à degradação das reservas destes nutrientes para o fornecimento de energia requerida durante o crescimento da planta (KOEHLER *et al.*, 2007).

Tabela 8 - Média \pm desvio padrão dos teores de lipídeos e carboidrato utilizável das farinhas de feijão cozido e germinado.

Variável	Processamento	
	Cozido	Germinado
Lipídeos (%)	1,07 \pm 0,21	1,67 \pm 0,18
Carboidrato utilizável (%)	47,19 \pm 1,03	44,87 \pm 0,99

3.3. Razão Molar Fitato:Mineral

A razão molar é um método utilizado para a determinação indireta da disponibilidade mineral (LESTIENNE *et al.*, 2005; FRONTELA *et al.*, 2009). É sabido que a razão molar está associada à capacidade de absorção de minerais como ferro e zinco. Alguns autores determinam valores críticos e classificam quanto à alta, média ou baixa disponibilidade (SAHA *et al.*, 1994; LESTIENNE *et al.*, 2005). As razões molares Fitato:Ferro e Fitato:Zinco, calculadas à partir de valores reais de fitato, ferro e zinco das amostras de feijões estão apresentadas na Tabela 9.

Tabela 9 - Razões molares entre ácido fítico e os minerais ferro e zinco dos feijões Pontal e Estilo, cozido e germinado.

	Fitato:Fe	Fitato:Zn
Pontal Cozido	5,37	14,34
Pontal Germinado	6,50	7,58
Estilo Cozido	7,91	14,50
Estilo Germinado	8,73	16,00

Razão molar fitato:ferro < 14: alta disponibilidade; > 14 baixa disponibilidade.

Razão molar fitato:zinco > 15: baixa disponibilidade; 5-15: média disponibilidade; < 5: alta disponibilidade.

A relação molar Fitato:Ferro dos feijões, as quais estão associados a capacidade de absorção de ferro, estão abaixo do valor crítico (14) em todas as amostras e, conseqüentemente, possuem uma alta disponibilidade do ferro. Razões molares Fitato:Ferro maior que o valor crítico (14) comprometem a biodisponibilidade desse mineral (ELLIS *et al.*, 1987; SAHA *et al.*, 1994; LESTIENNE *et al.*, 2005). Pode-se notar na Tabela 9 que os feijões Pontal e Estilo cozidos obtiveram uma menor razão molar Fitato:Ferro, quando comparados com os germinados, ou seja, os feijões cozidos possivelmente possuem uma maior disponibilidade de ferro. Entretanto, os processos de cozimento assim como a germinação podem levar à diminuição do conteúdo de ferro das sementes (SANGRONIS; MACHADO 2007; RAMIREZ-CÁRDENAZ *et al.*, 2008), possivelmente devido à imersão dos grãos em água antes do processamento e lixiviação dos mesmos (SANGRONIS; MACHADO, 2007). Assim como o esperado, o feijão Pontal cozido (5,37) e Pontal germinado (6,50) apresentaram menores razão molar em relação ao Estilo cozido (7,91) e Estilo germinado (8,73), por se tratar de uma cultivar biofortificada com ferro, levando, portanto, à redução de sua razão molar e, conseqüentemente, à maior disponibilidade.

Segundo a Organização Mundial de Saúde (WHO, 1996), dietas com razão molar Fitato:Zinco acima de 15 apresentam baixa biodisponibilidade de zinco, com absorção variando de 10% a 15%, razões molares entre 5 e 15 apresentam média biodisponibilidade, com absorção de zinco variando entre 30% a 35% e, razões molares abaixo de 5 apresentam alta biodisponibilidade de zinco. O feijão Pontal germinado foi o que apresentou uma melhor disponibilidade de zinco dentre as demais apresentando razão molar de 7,58, caracterizando-se como média disponibilidade. Assim como os feijões Pontal e Estilo cozidos, os quais apresentaram razão molar de 14,34 e 14,50, respectivamente. Por outro lado, o feijão Estilo germinado apresentou baixa disponibilidade, uma vez que obteve razão molar Fitato:Zinco de 16,00. É possível concluir, portanto, que o processo de germinação foi eficiente somente quando associado ao feijão biofortificado, uma vez que este possui maior conteúdo de ferro, contribuindo para a melhoria de sua razão molar e, conseqüentemente disponibilidade.

Além disso, como o conteúdo de ferro dos feijões não se diferiu estatisticamente quanto ao processamento de cozimento e germinação, mas sim em relação ao tipo de feijão (Pontal e Estilo), também foi calculada a relação molar

Fitato:Ferro dos feijões Pontal e Estilo (Tabela 10). A razão molar do feijão Pontal foi menor que a do feijão Estilo e estes valores estão abaixo do valor considerado prejudicial para a biodisponibilidade de ferro. As razões molares dos dois tipos de feijão foram abaixo de 14, o que, conseqüentemente, pode ter um nível aceitável de disponibilidade de ferro. Visto que razões molares Fitato:Ferro maior que o valor crítico (14) comprometem a biodisponibilidade desse mineral (ELLIS *et al.*, 1987; SAHA *et al.*, 1994; LESTIENNE *et al.*, 2005). O feijão Pontal obteve uma menor relação molar (5,75) e, conseqüentemente, uma maior disponibilidade de ferro quando comparado com a cultivar Estilo, uma vez que o feijão biofortificado possui maior conteúdo de ferro levando à redução de sua razão molar.

Tabela 10 - Razão molar entre ácido fítico e ferro dos feijões Pontal e Estilo.

	Pontal	Estilo
Fitato:Fe	5,75	8,13

Razão molar fitato:ferro < 14: alta disponibilidade; > 14 baixa disponibilidade.

Razão molar fitato:zinco > 15: baixa disponibilidade; 5-15: média disponibilidade; < 5: alta disponibilidade.

Em relação à disponibilidade de zinco, a razão molar Fitato:Zinco também foi calculada com base no processamento (cozimento e germinação) uma vez que não houve diferença estatisticamente quanto ao tipo de feijão (Pontal e Estilo) (Tabela 11). O feijão germinado apresentou uma maior disponibilidade de zinco, com razão molar de 14,23, sendo, portanto classificado como média disponibilidade. Por outro lado, o feijão cozido apresentou baixa disponibilidade de zinco, com razão molar de 15,43. Este fato pode ser explicado uma vez que o conteúdo de zinco do feijão germinado (40,30 mg/kg) foi maior em relação ao do cozido (37,17 mg/kg). Além disso, a imersão das sementes em água, bem como o processo germinativo, contribuiu para uma redução do teor de fitato, levando, portanto à diminuição da razão molar e conseqüente melhoria da disponibilidade de zinco (LESTIENNE *et al.*, 2005).

Tabela 11 - Razão molar entre ácido fítico e zinco dos feijões cozido e germinado.

	Cozido	Germinado
Fitato:Zn	15,43	14,23

Razão molar fitato:ferro < 14: alta disponibilidade; > 14 baixa disponibilidade.

Razão molar fitato:zinco > 15: baixa disponibilidade; 5-15: média disponibilidade; < 5: alta disponibilidade.

4. CONCLUSÃO

Tanto o processo de germinação quanto o de cozimento contribuíram para a melhoria da digestibilidade do feijão, visto que reduziram drasticamente o conteúdo de taninos dos feijões. Porém, a germinação mostrou-se mais eficiente uma vez que teve uma maior redução do teor de taninos. Além disso, após a digestão *in vitro*, os teores de ferro e zinco hidrolisados foram maiores quando os grãos foram germinados, ou seja, os minerais supostamente estarão mais biodisponíveis para serem absorvidos. A partir dos resultados de razão molar fitato:ferro, foi possível confirmar que o feijão germinado possui maior disponibilidade de ferro quando comparado com o feijão cozido.

Portanto, a germinação de sementes para fins alimentícios se mostra benéfico, uma vez que é um método de processamento simples que contribuiu para melhoria da qualidade nutricional dos feijões, diminuindo fatores antinutricionais e aumentando da disponibilidade de ferro e zinco. Com isso, o consumo de alimentos germinados pode ser uma alternativa para compor a alimentação de populações, principalmente daquelas em risco nutricional, tornando-a mais saudável e completa.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGOSTINI, J. S. da; IDA, E. I. Caracterização parcial e utilização da fitase extraída de sementes germinadas de girassol. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 6, p. 1041-1047, 2006.

AGUILERA, Y.; DÍAZ, M.F.; JIMÉNEZ, T.; BENÍTEZ, V.; HERRERA, T.; CUADRADO, C.; MARTIN-PEDROSA, M.; MARTIN-CABREJAS, M. A. Changes in non-nutritional factors and antioxidant activity during germination of nonconventional legumes. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 61, n. 34, p. 8120–8125, 2013.

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.

AMAROWICZ, R.; ESTRELLA, I.; HERNÁNDEZ, T.; TROSZYNSKA, A. Antioxidant activity of extract of adzuki bean and its fractions. **Journal of Food Lipids**, v. 15, n. 1, p. 119–136, 2008.

AOAC - ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. Official Methods of Analysis of the Association of Official Agriculture Chemists. Washington, 2005.

ASP, N. G.; CLAES, G. J.; HALLMER, H.; SILJESTRON, M. Rapid enzymatic assay of insoluble and soluble dietary fiber. **Journal of Agricultural and food chemistry**, v. 31, n. 3, p. 476-482, 1983.

BARAMPAMA, Z.; SIMARD, R. E. Effects of soaking, cooking and fermentation on composition *in vitro* starch digestibility and nutritive value of common beans. **Plant Foods For Human Nutrition**, v. 48, n. 4, p. 349-365, 1995.

BARAMPAMA, Z.; SIMARD, R. E. Oligossaccharides, antinutritional factors, and protein digestibility of dry beans as affected by processing. **Journal of Food Science**, v. 59, n. 4, p. 833-838, 1994.

BAU, H. M.; VILLAUME, C.; NICOLAS, J. P.; MEJEAN, L. Effect of germination on chemical composition, biochemical constituents and antinutritional factors of soya bean (*Glycine max*) seeds. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 73, n. 1, p. 1-9, 1997.

BERNI, P. R. A.; CANNIATTI-BRAZACA, S. G. Efeito da germinação e da sanitização sobre a composição centesimal, teor de fibras alimentares, fitato, taninos e disponibilidade de minerais em trigo. **Alimentos e Nutrição**, v. 22, n. 3, p. 407-420, 2011.

BONETT, L. P.; BAUMGARTNER, M. D. S. T.; KLEIN, Â. C.; SILVA, L. I. D. Compostos nutricionais e fatores antinutricionais do feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.). **Arquivos de Ciências da Saúde UNIPAR**, v. 11, n. 3, p. 235-246, 2007.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Portaria nº 354, de 18 de julho de 1996. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 1996. Acesso em: 17/10/16. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br/anvisalegis/portarias/354_96.htm>

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução - RDC nº 360, de 23 de dezembro de 2003. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 2003. Acesso em: 20/11/2016. Disponível em: <http://www.abic.com.br/publique/media/CONS_leg_resolucao360-03.pdf>

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Projeções do Agronegócio 2014/15 a 2024/25 – Projeções de longo prazo. 6ª edição, Brasília, DF, 2015. Acesso em: 16/04/2016. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/PROJECOES_DO_AGRONEGOCIO_2025_WEB.pdf>

BRIGIDE, P. **Disponibilidade de ferro em grãos de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) irradiados**. 2002. 71 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Escola Superior de Agricultura – “Luiz de Queiroz”, Universidade Federal de São Paulo, Piracicaba, 2002.

BRIGIDE, P.; CANNIATTI-BRAZACA, S. G.; SILVA, M. O.; Nutritional characteristics of biofortified common beans. **Food Science and Technology**, v. 34, n. 3, p. 493-500, 2014.

CHANG, H. L.; SANG, H. O.; EUN, J. Y.; YOUNG, S. K. Effects of raw, cooked and germinated small black soybean powders on dietary fibre content and gastrointestinal functions. **Food Science and Biotechnology**, v. 15, n. 4, p. 635-638, 2006.

CHISTÉ, R. C.; COHEN, K. D. O.; MATHIAS, E. D. A.; RAMOA JUNIOR, A. G. A. Estudo das propriedades físico-químicas e microbiológicas no processamento da farinha de mandioca do grupo d'água. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 2, p. 265-269, 2007.

DHALIWAL, Y., AGGARWAL, R. Composition of fat in soybeans as affected by duration of germination and drying temperature. **Journal of Food Science and Technology**, v. 36, n. 3, p. 266–267, 1999.

DITCHFIELD, C. **Estudos dos métodos para a medida da atividade de água**. 2000. 195 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

DUEÑAS, M.; SARMENTO, T.; AGUILERA, Y.; BENITEZ, V.; MOLLÁ, E.; ESTEBAN, R. M.; MARTÍN-CABREJAS, M. A. Impact of cooking and germination on phenolic composition and dietary fibre fractions in dark beans (*Phaseolus vulgaris* L.) and lentils (*Lens culinaris* L.). **LWT-Food Science and Technology**, v. 66, p. 72-78, 2016.

ELLIS, R. MORRIS, R. Appropriate resin selections for rapid phytate analysis by ion-exchange chromatography. **Cereal Chemistry**, v. 63, p. 58-59, 1986.

ELLIS, R.; KELSAY, J. L.; REYNOLDS, R. D.; MORRIS, E. R.; MOSER, P. B.; FRAZIER, C. W. Phytate: zinc and phytate X calcium: zinc milimolar ratios in self-selected diets of americans, Asian Indians, and Nepalese. **Journal of the American Dietetic Association**, v. 87, n. 8, p. 1043-1047 1987.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária: Method 3051A: Microwave Assisted Acid Digestion of Sediments, Sludges, Soils, and Oils. 2007. 30p.

FRANCISCO, F. G.; USBERTI, R.; TONELI, J. T. de C. L. Ajuste de isotermas de sorção de sementes de cultivares de feijoeiro. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 29, n. 1, p. 35-39, 2007.

FRANCO, B. D. G. M.; LANDGRAF, M. **Microbiologia dos alimentos**. 1º ed. São Paulo: Atheneu, 2008.

FRONTELA, C.; ROS, G.; MARTÍNEZ, C. Iron and calcium availability from digestion of infant cereals by Caco-2 cells. **European Food Research and Technology**, v. 228, n. 5, p. 789-797, 2009.

GEIL, P. B.; ANDERSON, J. W. Nutrition and health implications of dry beans: a review. **Journal of the American College of Nutrition**, Clearwater, v. 13, n. 6, p. 549-558, 1994.

GHAVIDEL, R. A.; PRAKASH, J. The impact of germination and dehulling on nutrients, antinutrients, in vitro iron and calcium bioavailability and in vitro starch and protein digestibility of some legume seeds. **Food Science and Technology**, v. 40, n. 7. p. 1292-1299, 2007.

GOMES, G. M. S.; REIS, R. C.; SILVA, C. A. D. T. da. Obtenção de farinha de feijão caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 14, n. 1, p. 31-36, 2012.

GOMES, J. C.; SILVA, C. O. A. da. Elaboração e análises físico-químicas de farinhas de feijão. **Revista Ceres**, v. 50, n. 292, p. 687-697, 2003.

GONZALEZ, A. P. G. **Lugar de médico é na cozinha**. 2ª Ed, São Paulo: Alaúde, 2011.

GUZMÁN-MALDONADO, S. H.; CASTELLANOS, J.; MEJÍA, E. G. Relationship between theoretical and experimentally detected tannin content of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Food Chemistry**, v. 55, n. 4, p. 333-335, 1996.

HAN, O.; FAILLA, M. L.; HILL, D. A.; MORRIS, E. R.; SMITH, J. C. Inositol phosphates inhibit uptake and transport of iron and zinc by a human intestinal cell line. **Journal of Nutrition**, v. 124, n. 4, p. 580-587, 1994.

HEMALATHA, S.; PLATEL, K.; SRINIVASAN, K. Influence of germination and fermentation on bioaccessibility of zinc and iron from food grains. **European Journal of Clinical Nutrition**, v. 61, n. 3, p. 342-348, 2007.

HOUSE, W. A.; ROSS, M.; WELCH, R. M.; BEEBE, S.; Cheng, Z. Potential for

increasing the amounts of bioavailable zinc in dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.) through plant breeding. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 82, n. 13, p. 1452-1457, 2002.

HUNG, P. V.; MAEDA, T.; YAMAMOTO, S.; MORITA, N. Effects of germination on nutritional composition of waxy wheat. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 92, n. 3, p. 667-672, 2012.

JORGE, A. **Avaliação comparativa entre processos de secagem na produção de tomate em pó**. 2014. 70 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2014.

KHOKHAR, S.; CHAUHAN, B. M. Antinutritional factors in moth bean (*Vigna aconitifolia*): Varital differences and effects of methods of domestics processing and cooking. **Journal Food Science**, v. 51, n. 3, p. 591-594, 1986.

KOEHLER, P.; HARTMANN, G.; WIESER, H.; RYCHLIK, M. Changes of folates, dietary fiber, and proteins in wheat as affected by germination. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 55, n. 12, p. 4678–4683, 2007.

LAJOLO, F. M.; GENOVESE, M. I.; MENEZES, E. W. Qualidade nutricional. In: ARAÚJO, R. S.; AGUSTÍNRAVA, C.; STONE, L. F.; ZIMMERMANN, M. J. de O. **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba, p. 71-99, 1996.

LATTA, M., ESKIN, M. A simple and rapid colorimetric method for phytate determination. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 28, n. 6, p. 1313-1315, 1980.

LAVELLI, V.; KERR, W.; HARSHA, P. S. C. S. Phytochemical stability in dried tomato pulp and peel as affected by moisture properties. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 61, n. 3, p. 700-707, 2012.

LESTIENNE, I.; ICARD-VERNIÈRE, C.; MOUQUET, C., PICQ, C.; TRÈCHE, S. Effects of soaking whole cereal and legume seeds on iron, zinc and phytate contents. **Food chemistry**, v. 89, n. 3, p. 421-425, 2005.

LOMBARDI-BOCCIA, G.; SCHLEMMER, U.; CAPPELLONI, M.; DI LULLO, G. The inhibitory effect of albumin extracts from white beans (*Phaseolus vulgaris*, L.) on in vitro iron and zinc dialysability: role of phytic acid. **Food chemistry**, v. 63, n. 1, p. 1-7, 1998.

LUO, Y.; GU, Z.; HAN, Y.; CHEN, Z. The impact of processing on phytic acid, in vitro soluble iron and Phy/Fe molar ratio of faba bean (*Vicia faba* L.). **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 89, n. 5, p. 861-866, 2009.

MACHADO, A. L. de L.; BARCELOS, M. D. F. P.; TEIXEIRA, A. H. R.; NOGUEIRA, D. A. Avaliação de componentes químicos em brotos de *Fabaceae* para o consumo humano. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, n. 4, p. 1071-1078, 2009.

MARQUEZI, M. **Características físico-químicas e avaliação das propriedades tecnológicas do feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.)**. 2013. 115 f. Dissertação.

(Mestrado em Ciência dos Alimentos), Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

MARTÍN-CABREJAS, M. A.; AGUILERA, Y.; PEDROSA, M. M.; CUADRADO, C.; HERNÁNDEZ, T.; DÍAZ, S.; ESTEBAN, R. M. The impact of dehydration process on antinutrients and protein digestibility of some legume flours. **Food Chemistry**, v. 114, n. 3, p. 1063-1068, 2009.

MARTÍN-CABREJAS, M. A.; DÍAZ, M. F.; AGUILERA, Y.; BENÍTEZ, V.; MOLLÁ, E.; ESTEBAN, R. M. Influence of germination on the soluble carbohydrates and dietary fibre fractions in non-conventional legumes. **Food Chemistry**, v. 107, n. 3, p. 1045-1052, 2008.

MARTINEZ, A. P. C.; MARTINEZ, P. C. C.; SOUZA, M. C.; CANNIATTI BRAZACA, S. G. Alterações químicas em grãos de soja com a germinação. **Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas**, v. 31, n. 1, p. 23-30, 2011.

MARTINEZ, P. C. C. **Efeito da radiação gama e do processo de germinação sobre as características nutricionais do feijão**. 2011. 218 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Escola Superior de Agricultura – “Luiz de Queiroz”, Universidade Federal de São Paulo, Piracicaba, 2011.

MARTINEZ-DOMINGUEZ, B.; IBAÑEZ, M. B.; RINCÓN, F. Acido fítico: aspectos nutricionales e implicaciones analíticas. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, Venezuela, v. 52, n. 3, p. 219-231, 2002.

MECHI, R.; CANIATTI-BRAZACA, S. G.; ARTHUR, V. Avaliação química, nutricional e fatores antinutricionais do feijão preto (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 1, p. 109-114, 2005.

MEGÍAS, C.; YUST, M del M.; PEDROCHE, J.; LQUARI, H.; GIRÓN-CALLE, J.; ALAIZ, M.; MILLÁN, F.; VIOQUE, J. Purification of an ACE inhibitory peptide after hydrolysis of sunflower (*Helianthus annuus* L.) protein isolates. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 52, n. 7, p. 1928-1932, 2009.

MINGUITA, A. P. da S.; CARVALHO, J. L. V. de; OLIVEIRA, E. M. M.; GALDEANO, M. C. Produção e caracterização de massas alimentícias a base de alimentos biofortificados: trigo, arroz polido e feijão carioca com casca. **Ciência Rural**, v. 45, n. 10, p. 1895-1901, 2015.

OLIVEIRA, A. C. de; QUEIROZ, K. D. S.; HELBIG, E.; REIS, S. M. P. M.; CARRARO, F. O processamento doméstico do feijão-comum ocasionou uma redução nos fatores antinutricionais fitatos e taninos, no teor de amido e em fatores de flatulência rafinose, estaquiose e verbascose. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, v. 51, n. 3, p. 276-283, 2001.

OLIVEIRA, L. O.; RETAMAL, C.A.; CUNHA, M. DA; OLIVEIRA, A. E. A.; PINTO, M. S. T.; FERNANDES, K. V. S. Mobilization of reserve proteins and activities of cysteine peptidases during germinative and post-germinative events of cowpea seeds. **Protein and Peptide Letters**, v. 19, n. 12, p. 1281–1288. 2012.

- OLOYO, R. A. Chemical and nutritional quality changes in germinating seeds of *Cajanus cajan* L. **Food Chemistry**, v. 85, n. 4, p. 497-502, 2004.
- PINO, V. H. D.; LAJOLO, F. M. Efecto inhibitorio de los taninos del frijol carioca. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 23, n. 1, p. 49-53, 2003.
- PRICE, M. L.; HAGERMAN, A. E.; BUTLER, L. G. Tannin content of cowpeas, chickpeas, pigeon peas, and human mung beans. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 28, n. 2, p. 459-461, 1980.
- PROM-U-THAI, C.; HUANG, L. B.; GLAHN, R. P.; WELCH, R. M.; FUKAI, S.; B. RERKASEM; S. Iron (Fe) bioavailability and the distribution of anti-Fe nutrition biochemicals in the unpolished, polished grain and bran fraction of five rice genotypes. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 86, n. 8, p. 1209–1215, 2006.
- RAMIREZ-CÁRDENAS, L.; LEONEL A. J.; COSTA, N. M. B. Efeito do processamento doméstico sobre o teor de nutrientes e de fatores antinutricionais de diferentes cultivares de feijão comum. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 1, p. 200-213, 2008.
- ROSTON, A. J. **Feijão**. Campinas: CATTI, 1990. 18 p. (Boletim Técnico, 1990).
- SAHA, P. R.; WEAVER, C. M.; MASON, A. C. Mineral bioavailability in rats from intrinsically labeled whole wheat flour of various phytate levels. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 42, n. 11, p. 2531-2535, 1994.
- SAHA, S.; SINGH, G.; MAHAJAN, V.; GUPTA, H. S. Variability of nutritional and cooking quality in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) as a function of genotype. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 64, n. 2, p. 174-180, 2009.
- SANGRONIS, E.; MACHADO, C. J. Influence of germination on the nutritional quality of *Phaseolus vulgaris* and *Cajanus cajan*. **LWT-Food Science and Technology**, v. 40, n. 1, p. 116-120, 2007.
- SATHE, S. K. Dry Bean Protein Functionality. **Critical Reviews in Biotechnology**, v. 22, n. 2, p. 175-223, 2002.
- SHIMELIS, E. A.; RAKSHIT, S. K. Effect of processing on antinutrients and in vitro protein digestibility of kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.) varieties grown in East Africa. **Food Chemistry**, v. 103, n. 1, p. 161-172, 2007.
- SILVA, M. R.; SILVA, M. A. A. P. da. Aspectos nutricionais de fitatos e taninos. **Revista de Nutrição**, v. 12, n. 1, p. 21-32, 1999.
- SWIECA, M.; GAWLIK-DZIKI, U.; KOWALCZYK, D.; ZŁOTEK, U. Impact of germination time and type of illumination on the antioxidant compounds and antioxidant capacity of *Lens culinaris* sprouts. **Scientia Horticulturae**, v. 140, n. 1, p. 87-95, 2012.
- TRUCOM, C. De bem com a natureza: cuidando do seu filho com a alimentação viva. São Paulo: Ed Alaúde, 2012.

TRUGO, L. C.; DONANGELO, C. M.; TRUGO, N. M. F.; KNUDSEN, E. B. Effect of heat treatment on nutritional quality of germinated legume seeds. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 48, n. 6, p. 2082-2086, 2000.

VANIER, N. L. **Armazenamento de cultivares de feijão e seus efeitos na qualidade tecnológica dos grãos e nas propriedades do amido**. 2012. 91 f. Dissertação. (Mestrado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial), Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Agroindustrial, Universidade Federal de Pelotas, Rio Grande do Sul, 2012.

VAZ-TOSTES, M. G.; VEREDIANO, T. A.; MEJIA, E. G.; COSTA, N. M. B. Evaluation of iron and zinc bioavailability of beans targeted for biofortification using *in vitro* and *in vivo* models and their effect on the nutritional status of preschool children. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 96, n. 4, p. 1326–1332, 2016.

VIDAL-VALVERDE, C.; FRIAS, J.; SIERRA, I.; BLAZQUEZ, I.; LAMBEIN, F.; KUO, Y. H. New functional legume foods by germination: effect on the nutritive value of beans, lentils and peas. **European Food Research and Technology**, v. 215, n. 6, p. 472-477, 2002.

VILAS BOAS, E. V. B.; BARCELOS, M. F. P.; LIMA, M. A. C. Tempo de germinação e características físicas, químicas e sensoriais dos brotos de soja e de milho nas formas isoladas e combinadas. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 26, n. 1, p. 148-156, 2002.

WEI, Y.; SHOHAG, M. J. I.; YING, F.; YANG, X.; WU, C.; WANG, Y. Effect of ferrous sulfate fortification in germinated brown rice on seed iron concentration and bioavailability. **Food chemistry**, v. 138, n. 2-3, p. 1952-1958, 2013.

WELCH, R. M.; HOUSE W. A.; BEEBE S.; CHENG Z. Genetic selection for enhanced bioavailable levels of iron in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seeds. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 48, n. 8, p. 3576-80, 2000.

World Health Organization (WHO). Trace elements in human nutrition and health. Geneva; 1996.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dentre os modelos matemáticos estudados para descrever a cinética de secagem dos feijões, o modelo de Page foi o que descreveu satisfatoriamente o processo de secagem dos feijões cozido e germinado, uma vez que apresentou maiores coeficientes de determinação e menor erro padrão quando comparado com os demais modelos. Ajustando-se, portanto, satisfatoriamente aos dados experimentais. O tempo de secagem foi menor com o aumento da temperatura e, de modo geral, menor para os feijões germinados.

A temperatura do ar de secagem influenciou somente no teor de umidade e atividade de água das farinhas de feijão cozido e germinado. As demais características físico-químicas não foram influenciadas pela temperatura.

Em relação ao efeito do processo de germinação e cozimento sobre as características físico-químicas das farinhas de feijão, a germinação mostrou-se ser mais eficiente para a qualidade nutricional dos feijões, quando comparado com o processo de cozimento, uma vez que promoveu maior redução do conteúdo de taninos dos feijões. Além disso, obteve maiores teores de fibras solúveis, lipídeos e zinco. A germinação também mostrou um efeito positivo em relação ao conteúdo de ferro e zinco hidrolisados. Após a digestão *in vitro*, foi possível concluir que a germinação obteve um maior teor de ferro e zinco hidrolisados mesmo não havendo efeito algum da germinação sob o conteúdo de ferro do feijão, ou seja, após a digestão, os minerais supostamente estarão mais biodisponíveis para serem absorvidos uma vez que foram digeridos e hidrolisados. Além disso, os resultados de razão molar fitato:ferro, confirmam que o feijão germinado possui maior disponibilidade de ferro quando comparado com o feijão cozido.

Portanto a germinação é uma forma de consumo simples que se mostra promissora no que diz respeito à qualidade nutricional das sementes de feijão germinadas, diminuindo fatores antinutricionais e melhorando sua digestibilidade. Além disso, atualmente, este processamento tem sido muito estudado buscando novos conhecimentos em relação à germinação, e também a associação deste método aliado à tecnologia de alimentos, visando à qualidade nutricional de produtos alimentícios industrializados.