

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

DISSERTAÇÃO

**Efeito do processamento por extrusão de
farinha mista de pó de café e sorgo nas
características tecnológicas e capacidade
antioxidante**

Davy William Hidalgo Chávez

2014



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

Efeito do processamento por extrusão de farinha mista de pó de café e sorgo nas características tecnológicas e capacidade antioxidante

DAVY WILLIAM HIDALGO CHÁVEZ

Sob a Orientação do Professor Doutor
José Luis Ramírez Ascheri

e Co-orientação do Professor Doutor
Carlos Wanderlei Piler de Carvalho

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos**, no Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Área de Concentração em Tecnologia de Alimentos.

**Seropédica, RJ
Maio de 2014**

663.93

C512e

T

Chávez, Davy William Hidalgo, 1976-

Efeito do processamento por extrusão de farinha mista de pó de café e sorgo nas características tecnológicas e capacidade antioxidante / Davy William Hidalgo Chávez - 2014.

117 f.: il.

Orientador: José Luis Ramírez Ascheri.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Bibliografia: f. 74-83.

1. Café - Processamento - Teses. 2. Sorgo - Teses. 3. Alimentos - Composição - Teses. 4. Fenóis - Teses. 5. Tecnologia de alimentos - Teses. I. Ascheri, José Luis Ramírez, 1955-. II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Curso de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos. III. Título.

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

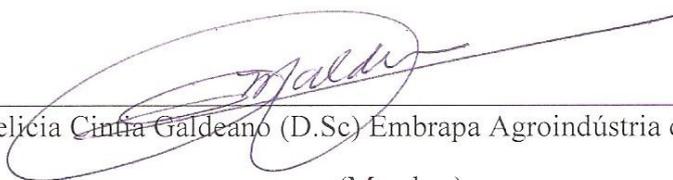
DAVY WILLIAM HIDALGO CHÁVEZ

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Área de Concentração em Tecnologia de Alimentos.

DISERTAÇÃO APROVADA EM 29/05/2014



José Luis Ramírez Ascheri. (D.Sc) Embrapa Agroindústria de Alimentos
(Orientador)



Melícia Cintra Galdeano (D.Sc) Embrapa Agroindústria de Alimentos
(Membro)



Cristiane Hess de Azevedo Meleiro (D.Sc) UFRRJ

(Membro)

DEDICATORIA

A Minha mãe

Pelo apoio incondicional, ensinamentos, compreensão, cuidado, amizade, amor e por não ter medido esforços para a realização de mais um grande sonho.

A meu irmão e irmã

Pelo companheirismo, amizade, estímulo e por o amor incondicional.

A minha família

Por todo o incentivo e por torcerem pelo meu sucesso e realização pessoal e profissional.

A Aline

Pelo amor incondicional e pelo apoio imenso nos tempos que mais precisava durante a realização deste grande sonho.

A todos vocês,

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me amparar nos momentos de dificuldade, concedendo-me saúde, força, perseverança e sabedoria para superar todas as adversidades que surgiram ao longo da minha caminhada.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), especialmente ao Departamento de Tecnologia de Alimentos (DTA), pela oportunidade concedida para a realização do curso.

À Embrapa Agroindústria de Alimentos pelas instalações cedidas para a execução deste estudo.

Ao D.Sc. José Luis Ramirez Ascheri, pela orientação no trabalho desenvolvido, por todo conhecimento que me foi transmitido, pelo apoio, presteza, incentivo e atenção dedicada a mim.

Ao Ph.D. Carlos Wanderlei Piler de Carvalho pelo estímulo e solicitude sempre que necessário.

Ao professor pesquisador DSc. Ronoel Luiz de Oliveira Godoy, e Dr. Sidney Pacheco pela colaboração na determinação de atividade antioxidante e compostos fenólicos por CLAE.

Aos analistas e assistentes da Embrapa Agroindústria de Alimentos que contribuíram de forma direta ou indireta na execução deste trabalho, pela colaboração e apoio, em especial à Adriana Paula da Silva Minguita pela orientação no manuseio dos equipamentos do laboratório de Moagem; Francisco Carlos de Oliveira pela colaboração na extrusão; Mariana da Costa Mattos pelo apoio e orientação durante o testes de viscosidade, textura, entre outros.

RESUMO

HIDALGO-CHÁVEZ, Davy William. **Efeito do processamento por extrusão de farinha mista de pó de café e sorgo nas características tecnológicas e capacidade antioxidante.** 2014. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Instituto de Tecnologia, Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Rio de Janeiro, 2014.

O café (*Coffea arabica* L.) é muito importante no comércio internacional, o Brasil é o maior produtor, com 33,7% da produção mundial. Referente ao sorgo (*Sorghum bicolor*), a matriz proteica é livre de glúten, sendo adequado na alimentação de celíacos. O crescimento do mercado dos alimentos extrudados encontra-se em franca expansão no mundo inteiro. Considerando a necessidade de desenvolver novos produtos do café, e aproveitar o sorgo, estes recursos podem ser estudados para o desenvolvimento de produtos alimentícios, e a extrusão termoplástica pode ser uma ferramenta adequada para esse propósito. O objetivo deste trabalho foi o desenvolvimento de farinha mista pré-cozida por extrusão termoplástica utilizando farinha de sorgo e pó de café e determinar a suas propriedades antioxidantes. As misturas tiveram duas cultivares de sorgo (9929026 e 2012038), com pó de café (0, 10, 15 e 20%) e duas condições de umidade (16 e 20%), distribuídos num desenho inteiramente ao acaso com arranjo fatorial de 2*4*2. Foi utilizado um extrusor de rosca simples com temperaturas de 60 °C; 120 °C; e 140 °C, nas zonas 1, 2 e 3, respectivamente, com uma taxa de compressão: 3:1, e matriz de saída circular de 3 mm de diâmetro. Foram avaliadas a composição centesimal e perfil de minerais das matérias primas. Nas características tecnológicas dos extrudados foram avaliadas a vazão, densidade aparente (ρ), índice de expansão, propriedades de hidratação, viscosidade de pasta, textura instrumental e cor. Foram escolhidos os tratamentos com maiores valores de índice de solubilidade em água (ISA), para serem avaliadas as propriedades antioxidantes: compostos fenólicos totais utilizando o reagente Folin-Ciocalteu, capacidade antioxidante frente aos radicais DPPH⁺ e ABTS⁺, e a avaliação dos ácidos fenólicos livres e ligados por CLAE. Houve diferença entre as duas cultivares de sorgo, em quase todas as respostas estudadas. Atribuindo-se ao maior conteúdo de fibra da cultivar A, a qual gerou farinhas de maior tamanho de partícula entre outras diferenças. O aumento do pó de café na formulação resultou em uma variação da maior parte das variáveis respostas. Foi observado que o pó de café acrescentou as propriedades antioxidantes das misturas, e que o processo de extrusão teve um efeito positivo no conteúdo de compostos fenólicos totais e ácidos fenólicos por CLAE, mas promoveu uma redução na capacidade antioxidante frente aos radicais livres DPPH⁺ e ABTS⁺. O presente estudo permite concluir que é possível a produção de farinhas extrudadas com sorgo e pó de café para obter produtos com alto conteúdo de fibra, magnésio, potássio, fósforo e boas características antioxidantes que possam ser utilizados na alimentação complementar e consequente preservação da saúde.

Palavras chave: Fibra alimentar, tamanho de partícula, compostos fenólicos, radical livre, *Coffea arabica* L., *Sorghum bicolor*

ABSTRACT

HIDALGO-CHÁVEZ, Davy William. **Effect of extrusion processing of mixed flour, coffee powder and sorghum on the technological characteristics physico-chemical properties and antioxidant capacity.** 2014. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Instituto de Tecnologia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ. 2014.

Coffee (*Coffea arabica* L.) is very important in international trade, Brazil is the largest producer, with 33.7% of world production. Related to sorghum (*Sorghum bicolor*), the matrix protein is gluten-free and is suitable for celiacs feed. The growth of the market for extruded foods is booming worldwide. Considering the need to develop new products from coffee and sorghum and enjoy these features can be studied for the development of food products, and thermoplastic extrusion can be a suitable tool for this purpose. The objective of this work was the development of pre-cooked flour mixed by extrusion cooking using sorghum flour and coffee powder and determine their antioxidant properties. The mixtures were with two sorghum cultivars (9929026 and 2012038), and coffee powder (0, 10, 15 and 20%) and two moisture conditions (16 and 20%), distributed in a completely randomized design with a factorial arrangement of $2 * 4 * 2$. Was used a single screw extruder with temperatures of 60 ° C, 120 ° C; and 140 ° C in zones 1, 2 and 3 respectively, with a compression ratio of 3: 1, and outlet circular array of diameter 3 mm. Were evaluated the proximate composition and mineral commodity profile. In the technological characteristics of extruded flow rate, bulk density (ρ), expansion indexes, hydration properties, paste viscosity, instrumental texture and color. Treatments with higher rate of solubility in water (WSI) were chosen to be evaluated the antioxidant properties: total phenolics using the Folin-Ciocalteu method, antioxidant capacity against radicas DPPH⁺ and ABTS⁺, and the evaluation of the free phenolic acids by HPLC. There were differences between two sorghum cultivars, in almost all responses studied. Attributing to the higher fiber content of the cultivar A, which generated higher flour particle size among other differences. Increasing the coffee powder in the formulation resulted in the variation of most varying responses. It was observed that the coffee powder added antioxidant properties of the mixtures and the extrusion process had a positive effect on the content of phenolic compounds and phenolic HPLC acids, but there was a decrease in antioxidant capacity against free radical DPPH⁺ and ABTS⁺. This study shows that it is possible to produce extruded sorghum flour and coffee powder for products with high content of fiber, magnesium, potassium, phosphorus and good features antioxidants that can be used in complementary feeding and consequent preservation of health.

Keywords: Dietary fiber, particle size, phenolic compounds, free radical, *Coffea arabica* L., *Sorghum bicolor*.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Composição química média em g/100g (base seca) dos grãos de café arábica e conilon	4
Tabela 2. Composição química do café por produtos.	5
Tabela 3. Aplicação da extrusão na indústria de alimentos para humanos, animais e outras indústrias.....	10
Tabela 4. Composição química aproximada de café e duas cultivares de sorgo.....	34
Tabela 5. Perfil de minerais de pó de café e duas variedades de sorgo (A) e (B).	36
Tabela 6. Análises de variância para as variáveis vazão e densidade aparente referente ao processo de extrusão de pó de café e duas cultivares de sorgo.	39
Tabela 7. Resultados dos índices de expansão dos extrudados em função dos fatores: farinha da cultivar A ou B, percentagem de pó de café e percentagem de umidade.	42
Tabela 8. Resultados das índice de solubilidade em água e o índice de absorção de água em função dos fatores: farinha da cultivar A ou B, percentagem de pó de café e percentagem de umidade.	46
Tabela 9. Resultados da viscosidade inicial, viscosidade máxima e viscosidade mínima em função dos fatores: farinha da cultivar A ou B, percentagem de pó de café e percentagem de umidade.	51
Tabela 10. Resultados na quebra de viscosidade (breakdown), viscosidade final e tendência à retrogradação.(Setback) em função dos fatores: farinha da cultivar A ou B, percentagem de pó de café e percentagem de umidade.	52
Tabela 11. Propriedades mecânicas dos extrudados em função dos fatores: farinha da cultivar A ou B, percentagem de pó de café e percentagem de umidade.	54
Tabela 12. Parâmetros de cor de luminosidade, cromaticidade a* e b* para os extrudados em função dos fatores: farinha da cultivar A ou B, percentagem de pó de café e percentagem de umidade.	57
Tabela 13. Parâmetros de cor: chroma (C), ângulo (h°) e diferença de cor (ΔE) em função dos fatores: farinha da cultivar A ou B, percentagem de pó de café e percentagem de umidade. ..	59
Tabela 14. Conteúdo de compostos fenólicos totais (mg AG/g) nos produtos crus e extrudados de misturas de pó de café e farinha de cultivares de sorgo A ou B.	61

Tabela 15. Conteúdo de ácidos fenólicos livres nos produtos crus e extrudados de combinações de pó de café e farinha de cultivares de sorgo A ou B (Continua).....	64
Tabela 15. Continuação.....	65
Tabela 16. Conteúdo de ácidos fenólicos ligados nos produtos crus e extrudados de combinações de pó de café e farinha de cultivares de sorgo A ou B (Continua).....	66
Tabela 16. Continuação.....	67
Tabela 17. Capacidade antioxidante frente ao radical DPPH ⁺	71
Tabela 18. Capacidade antioxidante frente ao radical ABTS ⁺	72

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diferença taxonômica e composição proteica dos principais cereais da família poaceae, adaptado de Giussani et al.; Mesa-Stonestreet, Alavi e Bean; Vallabhaneni; Bradbury e Wurtzel; Kupfer e Jabri (2001; 2010; 2010; 2012).	6
Figura 2. Desenho esquemático de um extrusor monorosca adaptado de Silva (2009).	8
Figura 3. Desenho esquemático das zonas do parafuso monorosca de um extrusor Brabender (BERRIOS, ASCHERI e LOSSO, 2013).	9
Figura 4. Geração de espécies reativas de oxigênio; SOD: superóxido dismutase; GSH Peroxidase: glutathione reduzida; MPO: mieloperoxidase adaptado de Chen; Hu e Wang (2012).	11
Figura 5. Distribuição esquemática dos antioxidantes naturais. Adaptado de Carochó e Ferreira (2013).	12
Figura 6. Estrutura do DPPH antes e depois da reação com o antioxidante AH, adaptado de Alam, Bristi e Rafiquzzaman (2013).	13
Figura 7. Redução do ABTS ^{•+} por um antioxidante e sua formação pelo persulfato de potássio (HUANG, OU e PRIOR, 2005).	14
Figura 8. Estrutura química de compostos fenólicos (MANACH et al., 2004).	15
Figura 9. Grãos integrais de genótipos de sorgo. (A) Cultivar 9929026, (B) Cultivar 2012038.	16
Figura 10. Fluxograma do processo de extrusão das farinhas de café e sorgo.	18
Figura 11. Diagrama esquemático da expansão do extrudado, adaptado de Kokini, Chang e Lai (1992).	20
Figura 12. Curva viscoamilográfica de pasta de uma farinha crua de sorgo, com agitação constante e perfil de temperatura de aquecimento-resfriamento.	22
Figura 13. Representação gráfica do resultado típico da força de compressão aplicada sobre um extrudado expandido (BOUVIER, BONNEVILLE e GOULLIEUX, 1997).	23
Figura 15. Fluxograma do processo de extração para as análises de capacidade antioxidante frente ao radical DPPH e ABTS, e para a quantificação dos compostos fenólicos totais.	25
Figura 16. Roteiro para análises da capacidade antioxidante frente ao radical livre	

DPPH ⁺	27
Figura 17. Rota para análises da capacidade antioxidante frente ao radical livre ABTS ⁺	28
Figura 18. Rota para análises do conteúdo de compostos fenólicos totais usando o reagente folin-ciocalteu.	30
Figura 19. Estrutura química dos padrões dos nove ácidos fenólicos que foram estudados no presente trabalho.	31
Figura 20. Fluxograma do processo de extração para obtenção dos ácidos fenólicos livres (ácidos fenólicos da extração alcoólica) e os ácidos fenólicos ligados (soma dos ácidos fenólicos da hidrólises básica e ácida).	32
Figura 21. Distribuição do tamanho de partículas de farinha integral de sorgo: () sorgo A; () sorgo B; colunas da mesma abertura de malha com letras de diferentes apresenta diferença significativa (p<0,05).	38
Figura 22. Efeito da cultivar de sorgo A ou B, percentagem de pó de café e percentagem de umidade sobre a vazão dos extrudados.....	40
Figura 23. Efeito da cultivar de sorgo A ou B, percentagem de pó de café e percentagem de umidade sobre a densidade aparente dos extrudados.....	40
Figura 24. Efeito da cultivar de sorgo A ou B, percentagem de pó de café e percentagem de umidade sobre o Índice de Expansão Radial (IER).	41
Figura 25. Extrudados escaneados das cultivares de sorgo com pó de café e diferentes umidades (aumneto 3X).....	43
Figura 26. Efeito da cultivar de sorgo A ou B, percentagem de pó de café e percentagem de umidade sobre o Índice de Expansão Longitudinal.	44
Figura 27. Efeito da cultivar de sorgo A ou B, percentagem de pó de café e percentagem de umidade no Índice de Expansão Volumétrico (IEV).....	44
Figura 28. Efeito da cultivar de sorgo A ou B, percentagem de pó de café e percentagem de umidade no Índice de Solubilidade em água (ISA).	45
Figura 29. Efeito da cultivar de sorgo A ou B, percentagem de pó de café e percentagem de umidade sobre o Índice de Absorção de água (IAA).....	47
Figura 30. Perfis das curvas de viscosidade de pasta dos extrudados da farinha da cultivar A (% café, % umidade); Ti(j,K)=Tratamento (percentagem de café, umidade).	49
Figura 31. Perfis das curvas de viscosidade de pasta dos extrudados da farinha da cultivar B; Ni(j,K)=Tratamento (percentagem de café, umidade).	50
Figura 32. Efeito da cultivar de sorgo A ou B, percentagem de pó de café e percentagem	

de umidade sobre o trabalho de crocância (W_c) dos extrudados.	53
Figura 33. Efeito da cultivar de sorgo A ou B, percentagem de pó de café e percentagem de umidade sobre as variáveis luminosidade (L^*), cromaticidade (a^*) e cromaticidade (b^*) dos extrudados.	56
Figura 34. Efeito da cultivar de sorgo A ou B, percentagem de pó de café e percentagem de umidade sobre as variáveis chroma (C), ângulo (h°) e diferença de total de cor (ΔE) dos extrudados.	58
Figura 35. Cromatograma e espectros da mistura de padrões de ácidos fenólicos.	62
Figura 36. Cromatogramas da extração básica para a cultivar de sorgo B com 20% de café na formulação, (1) tratamento cru (NC4B2) e (2) tratamento extrudado (N7B2).	69
Figura 37. Cromatogramas da extração alcoólica para ácidos fenólicos livres da cultivar de sorgo A com 10% de café na formulação, (1) tratamento cru (TC2L1) e (2) tratamento extrudado (T3L3).....	70

LISTA DE ABREVIACÕES, SIGLAS OU SÍMBOLOS

$^1\text{O}_2$	Oxigênio singleto
A	Área sob a curva de força
a*	Cromaticidade a
ABTS	2,2'-azinobis, 3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico
AFG	Ácidos fenólicos ligados
AFL	Ácidos fenólicos livres
AG	Ácido gálico
AH	Antioxidante
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
b*	Cromaticidade b
C	Croma
CLAE	Cromatografia Líquida de Alta Eficiência
CPT	Compostos fenólicos totais
D	Distância de compressão do produto
D	Diâmetro médio do extrudado
ΔE	Diferença total de cor
ΔF	Força de queda
Do	Diâmetro da matriz do extrusor
DPPH	2,2-difenil-1-picril-hidrazil
FAO	Food and Agriculture Organization
Fc	Força de compressão
Fsr	Força específica de rupturas
GSH	Glutathiona reduzida
h°	Ângulo hue
H ₂ O ₂	Peróxido de hidrogênio
CLAE	High-performance liquid chromatography
IAA	Índice de adsorção de água
ICO	International Coffe Organization
IEL	Índice de expansão longitudinal
IER	Índice de expansão radial
IEV	Índice de expansão volumétrico
ISA	Índice de solubilidade em água
L*	Luminosidade
m	Massa
Md	Umidade da massa em base úmida do produto fundido
Me	Umidade em base úmida do produto extrudado
MPO	Mieloperoxidase
No	Número total de picos
Nsr	Frequência de rupturas

O ₂ ^{-•}	Ânion superóxido
OH [•]	Radical hidroxila
Pa	Peso da amostra
QV	Quebra de viscosidade ou breakdown
ρd	Densidade do produto fundido
ρe	Densidade aparente
ROS	Espécies reativas de oxigênio
Rpm	Revoluções por minuto
RVA	Rapid Visco Analyser
SOD	Superóxido dismutase
t	Tempo
TEAC	Trolox equivalent antioxidant capacity
TM	Toneladas métricas
TR	Retrogradação
U _f	Umidade final
V	Vazão
V _{fin}	Viscosidade final a 25°C
V _{ini}	Viscosidade inicial a 25°C
V _{máx}	Viscosidade máxima a 95°C
V _{mín}	Viscosidade mínima a 95°C
Wa	Quantidade de água a ser adicionada
Wc	Trabalho de crocância

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Objetivo Geral	2
1.2	Objetivos Específicos	2
2	REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1	O Café	3
2.2	Classificação da espécie do café	3
2.2.1	Diferenças entre o café arábica e conilon.....	3
2.2.2	Composição química do café.....	4
2.3	O Sorgo	5
2.3.1	Composição química do sorgo.....	6
2.4	Processo de Extrusão Termoplástica.....	7
2.5	Antioxidantes	10
2.5.1	Atividade antioxidante frente ao radical DPPH+	12
2.5.2	Atividade antioxidante frente ao radical ABTS+	13
2.6	Fenólicos	14
3	MATERIAIS E MÉTODOS	16
3.1	Local de Execução	16
3.2	Matéria Prima	16
3.2.1	Café.....	16
3.2.2	Sorgo.....	16
3.3	Métodos.....	16
3.3.1	Análises físico-químicas das matérias primas	16
3.3.2	Determinação da distribuição granulométrica das farinhas integrais de sorgo	17
3.3.3	Obtenção da farinha pré-cozida de café e sorgo por extrusão.....	17
3.3.4	Condições de extrusão.....	19
3.3.5	Propriedades físicas dos produtos extrudados.....	19
3.3.6	Propriedades antioxidantes	25
3.4	Delineamento Experimental	33

4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
4.1	Caracterização da matéria prima	34
4.2	Determinação da distribuição granulométrica das farinhas de sorgo.....	38
4.3	Estudo das variáveis dependentes de extrusão	38
4.3.1	Vazão e densidade aparente.....	38
4.3.2	Índice de expansão	41
4.3.3	Índice de solubilidade em água (ISA) e índice de absorção de água (IAA)	45
4.3.4	Viscosidade de pasta.....	48
4.3.5	Textura instrumental ou grau de crocância	53
4.3.6	Cor	55
4.4	Compostos fenólicos totais.....	60
4.5	Compostos fenólicos por CLAE	61
4.6	Antioxidantes	71
4.6.1	Radical livre DPPH ⁺	71
4.6.2	Radical livre ABTS ⁺	72
5	CONCLUSÕES	73
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74

ANEXOS

Anexo A.	Percentagens de retentado nas peneiras após 10 min de peneiramento dos cultivares de sorgo.	84
Anexo B.	Vazão e densidade aparente.	86
Anexo C.	Analises de variância para os índices de expansão referente ao processo de extrusão de pó de café e duas cultivares de sorgo.	87
Anexo D.	Analises de variância para o índice de solubilidade de água e o índice de absorção de água referente ao processo de extrusão de pó de café e duas cultivares de sorgo.	88
Anexo E.	Analises de variância para os parâmetros de viscosidade inicial, viscosidade máxima e viscosidade mínima da pasta referente ao processo de extrusão de pó de café e duas cultivares de sorgo.	89
Anexo F.	Analises de variância para os parâmetros de Breakdown, viscosidade final e setback da pasta referente ao processo de extrusão de pó de café e duas cultivares de	

sorgo.	90
Anexo G. Efeito nas variáveis: viscosidade inicial ao frio 25°C, viscosidade máxima a 95°C e viscosidade mínima a 95°C no processo de extrusão em função dos fatores: farinha da cultivar A ou B, percentagem de pó de café e percentagem de umidade.	91
Anexo H. Efeito nas variáveis breakdown, viscosidade final e setback no processo de extrusão em função dos fatores: farinha da cultivar A ou B, percentagem de pó de café e percentagem de umidade.	92
Anexo I. Análises de variância para os parâmetros de textura referente ao processo de extrusão de pó de café e duas cultivares de sorgo.	93
Anexo J. Efeito na frequência de rupturas (Nsr), força específica das rupturas (Fsr) e força de compressão (Fc) dos extrudados em função dos fatores: farinha da cultivar A ou B, percentagem de pó de café e percentagem de umidade.	94
Anexo K. Análises de variância para os parâmetros de cor referente ao processo de extrusão de pó de café e duas cultivares de sorgo.	95
Anexo L. Análises de variância para os parâmetros de cor referente ao processo de extrusão de pó de café e duas cultivares de sorgo.	96
Anexo M. Conteúdo de compostos fenólicos totais Conteúdo de compostos fenólicos totais (mg AG/g) nos produtos crus e extrudados de misturas de pó de café e farinha de cultivares de sorgo A ou B.	97
Anexo N. Capacidade antioxidante frente ao radical DPPH ⁺	98
Anexo O. Capacidade antioxidante frente ao radical ABTS ⁺	99

1 INTRODUÇÃO

O café é um produto muito importante no comércio internacional, ficando atrás apenas para o petróleo. Segundo a International coffee Organization o Brasil é o maior produtor, com 33,7 % da produção mundial de café. O aroma sedutor do café quente e fresco é capaz de atrair o consumo de 400 bilhões de xícaras por ano, assegurando seu posto de bebida mais popular do mundo (excluindo a água). Além de ser a principal fonte de cafeína, o café tem muitos outros compostos, entre estes podemos indicar compostos fenólicos, vitaminas B3, magnésio, potássio, e fibra, entretanto é pobre em amido. O café também tem compostos com propriedades antioxidantes como ácido clorogênico, flavonoides, nelaniones, furanos, pirroles, entre outros, e definitivamente por o uso intensivo o café representa um dos maiores contribuintes do total de antioxidantes na dieta.

Do lado da demanda é interessante notar as rápidas mudanças que vêm ocorrendo no mercado consumidor, em termos de novas tendências verificadas no consumo, as quais refletem a recente preocupação dos diversos segmentos da cadeia agroindustrial do café com a busca de novos produtos e qualidade. O café, a pesar de o Brasil ser o primeiro produtor do mundo necessita maiores alternativas de consumo e agregação de valor. Já existem muitos outros produtos contendo café. Este projeto trata de inserir uma nova forma de consumo do café, que não é o extrato, e sim o próprio pó de café mesmo.

Não seria possível consumir um café extrudado já que seria intragável, por essa razão há necessidade de se procurar um produto amiláceo e misturar ele nas proporções adequadas. Além de se trabalhar num sistema de extrusão mais favorável do que apenas um produto altamente fibroso como o pó de café.

Por outro lado, o sorgo é um dos cereais cultivados de grande importância no mundo. Nos países africanos o sorgo desempenha um papel importante na dieta humana. A produção de sorgo no Brasil é consideravelmente elevada, alcançando cerca de 2 milhões de toneladas em 2011. O sorgo possui o maior nível de antioxidantes quando comparados com outros cereais até agora estudados, porém no Brasil, pouco tem sido feito para alcançar o consumo humano, apenas utilizado em ração animal, mesmo assim muito pouco. Nesse sentido tendo excelentes características para a alimentação humana foram escolhidas duas variedades para serem misturadas ao café e assim se ter um produto extrudado, que na forma de farinha sirva para elaborar outros produtos, seja como bebida, mingaus, etc.

A extrusão é um processo de cocção industrial que combina umidade, alta pressão, calor e atrito mecânico por um curto período de tempo, ocasionando alterações físicas e químicas dos alimentos a fim de favorecer suas características tecnológicas. O crescimento do mercado dos alimentos extrudados encontra-se em franca expansão no mundo inteiro. Os processos térmicos (extrusão, pasteurização, etc.) frequentemente adicionam valor a materiais crus e são aplicados para produzir cor, textura e sabor e esterilizar as matérias, promovendo uma maior vida de armazenamento. O processo de causa gelatinização e fragmentação do amido, desnaturação de proteínas e interações entre seus produtos. Estas modificações podem melhorar as propriedades sensoriais, e a digestibilidade dos materiais.

Considerando a necessidade de desenvolver novos produtos do café, e ampliar a utilização do sorgo, o presente estudo propôs estudar estas matérias primas junto com a tecnologia da extrusão para obtenção de produtos na alimentação e obtenção de produtos com qualidade nutricional.

1.1 Objetivo Geral

Desenvolver um ingrediente extrudado rico em fibras e com boa capacidade antioxidante a partir do pó de café e do sorgo.

1.2 Objetivos Específicos

- Determinar a composição centesimal, composição em minerais e fibra alimentar, das matérias primas.
- Obter farinhas extrudadas de pó de café e farinha de duas cultivares de sorgo (9929026 e 2012038) através de processo de extrusão termoplástica: proporção da mistura das duas matérias primas e umidade de processamento.
- Caracterizar e avaliar as propriedades tecnológicas das farinhas extrudadas;
- Caracterizar e avaliar a capacidade antioxidante das farinhas extrudadas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 O Café

O café foi introduzido no Brasil em 1727, no Pará, por Francisco de Mello Palheta, deslocando-se rapidamente para o Maranhão, Rio de Janeiro e, depois, sucessivamente, para São Paulo, Minas Gerais, Espírito Santo e Paraná. A introdução do café no Brasil resultou num dos ciclos mais importantes do desenvolvimento econômico do país (FAZUOLI et al., 1985).

O processo de torrefação só foi desenvolvido no século XIV quando a bebida adquiriu forma e gosto como conhecemos hoje. Segundo o Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café (CBP&D/Café) (2004), citado por Souza (2010) a torra dos grãos foi descoberta ao acaso, quando os monges levaram alguns ramos de café carregados de frutos para perto do fogo para tentar secá-los a fim de guardá-los e usá-los durante o período de chuvas, porém, distraíram-se, deixando os grãos torrarem, de onde exalou um aroma extremamente agradável. Os monges tiraram os grãos do fogo e trituraram-nos, transformando-os em pó e preparando a bebida.

2.2 Classificação do café

As plantas de café pertencem à classe das dicotiledóneas ao grupo das fanerogâmicas. O gênero *Coffea*, da família das Rubiáceas, abarca grande variedade de espécies selvagens e cultivadas (ILLY e VIANI, 2005). A planta do café são arbustos que medem de 2,0 a 2,5 metros de altura, podendo atingir até dez metros. Do ponto de vista econômico, as duas espécies mais importantes cultivadas no mundo são a arábica e a conilon ou conilon (FERNANDES et al., 2001).

O fruto maduro e fresco de café contém, normalmente, duas sementes. Esse fruto consiste de pele exterior, normalmente vermelha, sobre uma polpa (o pericarpo) no qual estão encaixadas as sementes, cada um tendo um lado plano e o outro arredondado. As sementes estão envoltas por três camadas. A primeira delas é uma membrana fina, denominada película prateada ou testa. Acima dessa camada existe o endocarpo e uma camada pegajosa (mesocarpo) unindo-se à polpa. O tamanho das sementes depende do estado de crescimento, espécie e variedade da planta. As sementes da espécie *canephora*, são geralmente menores que as da espécie arábica (ILLY e VIANI, 2005).

2.2.1 Diferenças entre o café arábica e o café conilon

Segundo Gonçalves (2006), 75% da produção mundial é de café arábica e 25 % de café conilon. O arábica apresenta melhor qualidade, dando bebida de maior valor, enquanto o café conilon, muito usado em *blends*, é considerado neutro e tem maior concentração de sólidos solúveis, resultando em maior rendimento industrial. Várias são as diferenças entre o café arábica e café conilon, que vão desde o número de cromossomos (44 e 22, respectivamente), do tempo entre a florada e a formação do fruto maduro (7-9 e 10-11 meses, respectivamente), até características do produto final (SOUZA, 2010). O café arábica é mais aromático que o café conilon (ILLY e VIANI, 2005). A espécie *Coffea arábica* L., quando cultivada em regiões aptas, recebendo tratamentos culturais adequados, colhendo-se os frutos em estágio de cereja, 45 a 55 % de umidade e com ausência de ferimentos ou injúrias em sua superfície, produz grãos de café com potencial máximo de qualidade. Segundo Souza (2010) o café conilon possui características próprias, ou seja, corpo, acidez, cor e sabor muito diferente do café arábica e seus grãos são ligeiramente arredondados e menores, as plantas são

mais vigorosas e mais resistentes às doenças e parasitas, o que torna o cultivo mais fácil e mais barato. Tem também a vantagem de poder suportar climas mais quentes, preferindo temperaturas entre 24 e 30 °C, o que permite o cultivo em altitudes mais baixas. Praticamente não sofre problemas de frutificação em função de temperaturas mais altas (CAFEICULTURA, 2008).

Em suma, a diferença crucial entre as duas espécies se revela nas propriedades sensoriais do café torrado: um bom café arábica apresenta aroma e sabor mais intenso, amargor e acidez balanceados com notas achocolatadas e amendoadas, considerados características de café, justificando o fato de ser a espécie mais comercializada, (ILLY e VIANI, 2005). A distinção sensorial entre as duas espécies também é atribuída à diferença na composição química dos grãos verdes, atuando de forma diversa como precursores para a formação dos compostos que conferirão o aroma e sabor característico do café torrado (MENDES, 2005). Entretanto as características e a composição dos cafés podem variar de acordo com fatores genéticos, ambientais, maturação dos frutos, fermentações, infecção microbiana, tratos culturais, etc. (SOUZA, 2010).

2.2.2 Composição química do café

As características e a composição dos cafés podem variar de acordo com fatores genéticos, ambientais, maturação dos frutos, fermentações, infecção microbiana, tratos culturais, entre outros (PEREIRA, BARBOSA e LOPES, 2000). Nas Tabelas 1 e 2 são descritas a composição química dos grãos crus e torrados de *Coffea arábica* L. e *Coffea canéfora*.

Tabela 1. Composição química média em g/100g (base seca) dos grãos de café arábica e conilon

Componentes	Café arábica		Café conilon	
	Cru	Torrado	Cru	Torrado
Minerais	4,2	4,5	4,4	4,7
Cafeína	1,2	1,3	2,2	2,4
Trigonelina	1,0	0,7	0,7	0,4
Lipídeos	16,0	17,0	10,0	11,0
Ácido clorogênico totais	6,5	2,5	10,0	3,8
Sacarose	8,0	0,0	4,0	0,0
Aminoácidos	0,5	0,0	0,8	0,0
Proteínas	11,0	7,5	11,0	7,5

Fonte: Clarke e Macrae (2003).

A composição química do grão de café é caracterizada pela presença de centenas de constituintes voláteis e não voláteis, tais como ácidos, aldeídos, cetonas, açúcares, proteínas, aminoácidos, ácidos graxos, compostos fenólicos, cafeína e trigonelina, bem como enzimas que agem sobre estes próprios constituintes (GONÇALVES, 2006).

Tabela 2. Composição química do café por produtos.

Parâmetros (%)	Polpa de café	Café comercial
Celulosa	63,0 ± 2,5	8,6 ± 1,8
Hemicelulose	2,3 ± 1,0	36,7 ± 5,0
Proteína	11,5 ± 2,0	13,6 ± 3,8
Gordura	2,0 ± 2,6	ND
Fibra total	60,5 ± 2,9	ND
Polifenóis totais	1,5 ± 1,5	1,5 ± 1,0
Açúcares totais	14,4 ± 0,9	8,5 ± 1,2
Pectinas	6,5 ± 1,0	0,01 ± 0,005
Lignina	17,5 ± 2,2	0,05 ± 0,05
Taninos	3,0 ± 5,0	0,02 ± 0,1
Ácido clorogênico	2,4 ± 1,0	2,3 ± 1,0
Cafeína	1,5 ± 1,0	0,02 ± 0,1

Fonte: Murthy e Madhava Naidu (2012)

ND: Não detectado.

2.3 O Sorgo

O sorgo (*Sorghum bicolor*) é uma gramínea que pertence na família Poaceae, as sementes são usadas como forragem e para fazer farinha. É um cultivo alimentício importante na África, América Central, e Ásia Meridional e é o quinto cereal mais produzido no mundo, sendo os Estados Unidos o maior produtor. O sorgo é conhecido por muitos nomes: mijo grande e milho de Guiné-a na África ocidental, kafir na África austral, entre outros (EMBRAPA, 2011).

O sorgo tem uma altura de 1 a 2 metros. Tem inflorescências e sementes de 3 mm, esféricas e oblongas, de cores negras, avermelhadas e amarelas. Tem um sistema radicular que pode chegar em terrenos permeável a 2 metros de profundidade. As flores têm estambres e pistilos. O sorgo é uma planta de clima quente, apresentando características xerólinhas e mecanismos eficientes de tolerância à seca. Possui variedades adaptadas a diferentes zonas climáticas, inclusive zonas temperadas, desde que nesses locais ocorra estação estival quente com condições capazes de permitir o desenvolvimento da cultura. A produtividade do sorgo está relacionada com diversos fatores integrados (interceptação de radiação pelo dossel, eficiência metabólica, eficiência de translocação de produtos da fotossíntese para os grãos, capacidade de dreno (EMBRAPA, 2011).

A produção mundial de sorgo é cerca de 57 milhões de toneladas e ocupa o quinto lugar, depois do milho, arroz, trigo e cevada. O sorgo é usado em uma variedade de alimentos. Os cultivares brancos são processados para obter farinha, snacks expandidos, biscoitos e comidas étnicas e estão ganhando popularidade no Japão (DYKES e ROONEY, 2006).

2.3.1 Composição química do sorgo

O teor de amilose no grão de sorgo é variável segundo o cultivar (22,0 – 27,8 %) e possui menos lipídeos associados, em comparação ao amido do trigo com 1,66 %. A faixa de temperatura de gelatinização do amido nativo encontra-se entre 68 – 75 °C, com temperatura inicial superior aos cereais e tubérculos comuns (BOBBIO e BOBBIO, 2003). O grão de sorgo possui um teor proteico médio de 11 % (LÁSZTITY, 1996) e suas proteínas são classificadas como prolaminas (kafirinas) e não-prolaminas (albuminas, globulinas e glutelinas) (MESA-STONESTREET, ALAVI e BEAN, 2010). No grão integral, as frações proteicas de albuminas (11,13 %) e globulinas (6,27 %) contêm níveis elevados de lisina e triptófano. As maiores frações são as prolaminas (55 %) e glutelinas (20 %) (ALI et al., 2009). O sorgo é livre de glúten, sendo adequado na alimentação de celíacos e pessoas com níveis variados de intolerância ao glúten. A diferença taxonômica do sorgo em comparação aos principais cereais é responsável por esta característica (**Figura 1**) a ausência de flutenina no sorgo e faz deste cereal uma opção na alimentação dos celíacos.

Não obstante, as proteínas principais do sorgo (kafirinas) são resistentes à digestão, o que limita seu uso em alimentos (MESA-STONESTREET, ALAVI e BEAN, 2010). As kafirinas do sorgo são prolaminas relativamente ricas em prolina (11 mol%) ligadas com taninos condensados e ácidos tânicos, sendo a kafirina a fração mais ligada (23 mol% de prolina).

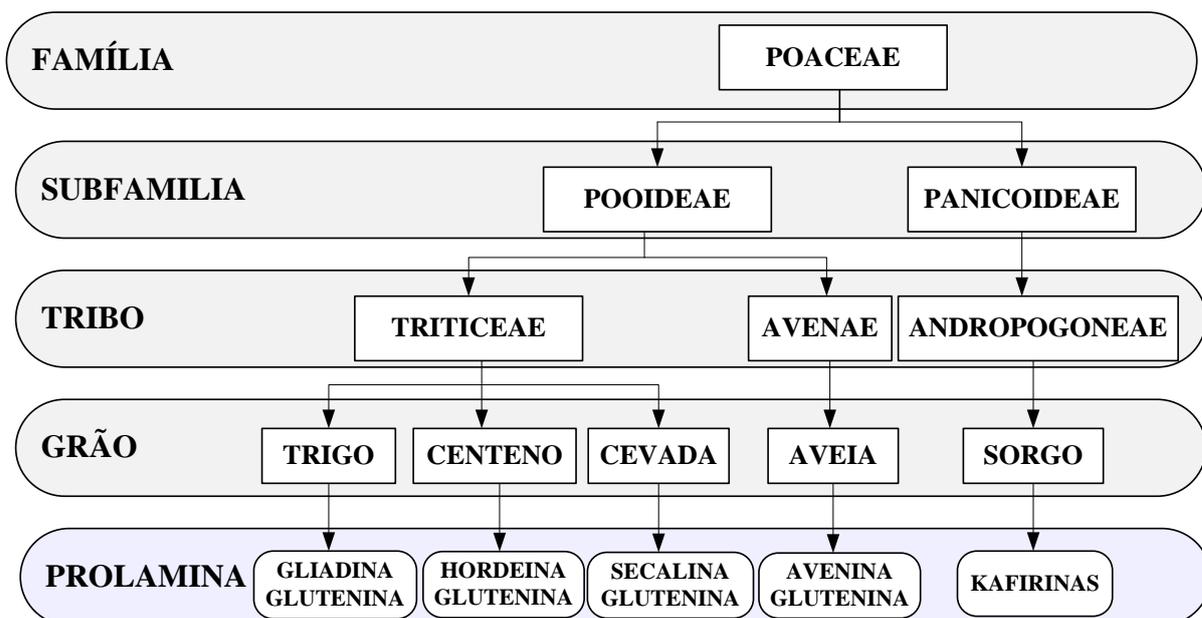


Figura 1. Diferença taxonômica e composição proteica dos principais cereais da família poaceae, adaptado de Giussani et al.; Mesa-Stonestreet, Alavi e Bean; Vallabhaneni; Bradbury e Wurtzel; Kupfer e Jabri (2001; 2010; 2010; 2012).

Os taninos estão presentes no sorgo com testa pigmentada. A pigmentação da testa é geneticamente controlada por genes dominantes, tornando a cor do pericarpo fenotipicamente marrom (EARP, DOHERTY e ROONEY, 1983). Os taninos no sorgo são quase exclusivamente do tipo condensado e são principalmente produtos polimerizados de flavan-3-ols e/ou flavan-3,4-dióis (AWIKA, J.M. et al., 2003).

2.4 Processo de Extrusão Termoplástica

A tecnologia de extrusão é uma operação de temperatura elevada e curto tempo (CHANG et al., 1999; NAYAK et al., 2011; BERRIOS, ASCHERI e LOSSO, 2013). É uma tecnologia versátil que converte os produtos agrícolas, usualmente em formato de grãos ou farinhas em produtos terminados (BERRIOS et al., 2010). O processo de extrusão termoplástica é uma técnica de processamento de alimentos que tem proporcionado numerosas aplicações (CHANG et al., 1999; NAYAK et al., 2011; BERRIOS, ASCHERI e LOSSO, 2013), e começou a ser utilizada com maior intensidade há pouco mais de duas décadas. Isso ocorreu devido principalmente ao aumento da demanda por produtos alimentícios prontos para o consumo (GUHA, ALI e BHATTACHARYA, 1997) como petiscos, macarrões, alimentos à base de cereais enriquecidos com proteína, bebidas em pó, produtos texturizados em geral como farinhas e amidos pré-gelatinizados utilizados na formulação de sopas instantâneas, molhos semi-processados, produtos de confeitaria, amidos modificados, alimentos infantis, alimentos para animais de estimação, cereais matinais e *snacks* (ALVIM, SGARBIERI e CHANG, 2002), sendo estes dois últimos extremamente apreciados por crianças.

O processo de extrusão, além de apresentar benefícios de um processo térmico convencional, é rápido e oferece as possibilidades de modificar o amido e proteínas, causando gelatinização e fragmentação do amido, desnaturação de proteínas e interações entre seus produtos (DE OLIVEIRA et al., 2004). Estas modificações podem melhorar as propriedades sensoriais, assim como a digestibilidade dos produtos (FURLAN et al., 2003). A extrusão possui consideráveis vantagens frente à tecnologias tradicionais de cozimento (BERRIOS, ASCHERI e LOSSO, 2013).

- O processo de extrusão é uma unidade de processamento complexa e completa, onde os ingredientes são misturados, cozinhados, formatados e cortados em um processo contínuo.
- Uma variedade de produtos pode ser produzida utilizando um equipamento simples somente alterando as quantidades de ingredientes na mistura e as condições do processo.
- O processo permite controles precisos (segundo o grau de sofisticação do equipamento) nos parâmetros de cozimento.
- O processo é versátil e qualquer mudança pode ser feita rapidamente, tanto na matéria prima quanto para os parâmetros de processamento segundo o grau de sofisticação do equipamento.
- O tratamento sob alta temperatura e curto tempo reduz/elimina microrganismos, inativa enzimas, e minimiza perdas nutricionais e de odores.
- Os produtos extrudados têm menor custo de produção quanto comparado com processos tradicionais de tratamento térmico, uma vez que são realizadas múltiplas operações como: mistura, homogeneização, cocção, formatação, entre outras, num equipamento simples aumentando a produtividade e diminuindo os custos.

O extrusor é constituído basicamente por um alimentador, um ou dois parafuso, um cilindro encamisado, matriz e mecanismo de corte (**Figura 2**). O alimentador é composto de um recipiente para receber o material a ser extrudado e de um vibrador ou parafuso localizado vertical ou horizontalmente. Tem a função de manter a alimentação constante e ininterrupta, o que é essencial para o funcionamento do extrusor, bem como para a homogeneidade e a qualidade do produto (BORBA, SARMENTO e LEONEL, 2005).

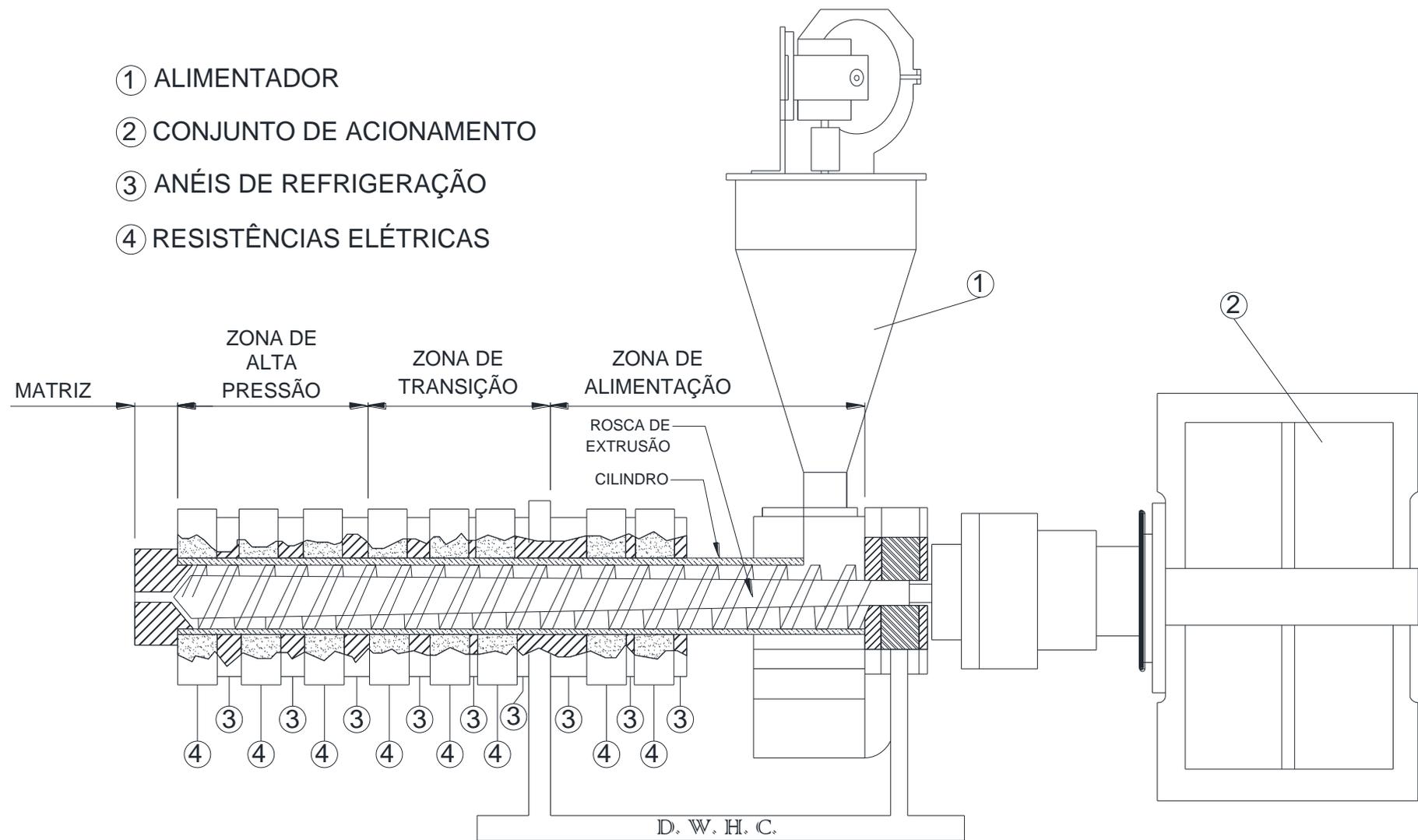


Figura 2. Desenho esquemático de um extrusor monorosca adaptado de Silva (2009).

O processo de extrusão termoplástica pode ser dividido basicamente em três etapas: o pré-condicionamento, onde é feito o ajuste de umidade da matéria-prima a ser extrudada; a extrusão propriamente dita, ou seja, a inserção de matéria-prima no extrusor e a modificação da mesma em relação às suas características físico-químicas e sensoriais; e a pós-extrusão, que representa o tratamento que o produto sofre após ter sido extrudado, destacando-se a secagem (GUY, ROBIN, 2001). O parafuso do extrusor monorosca geralmente se divide em 3 seções: de alimentação, de transição e de alta pressão (**Figura 3**).

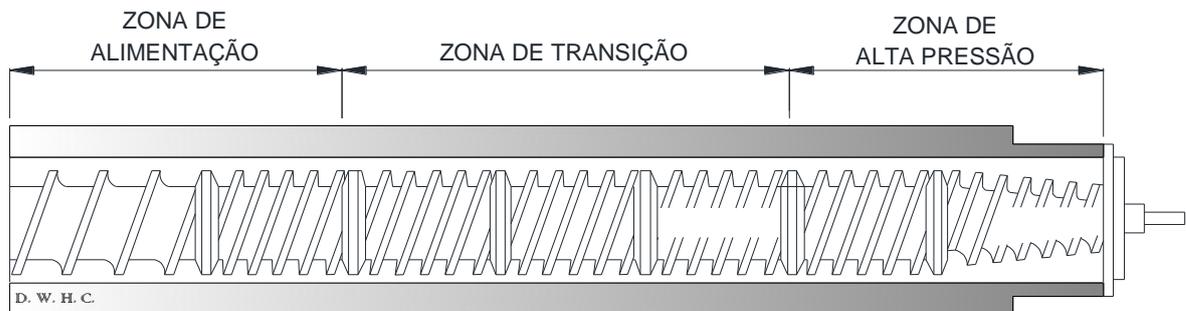


Figura 3. Desenho esquemático das zonas do parafuso monorosca de um extrusor Brabender (BERRIOS, ASCHERI e LOSSO, 2013).

A tecnologia de extrusão pode ser utilizada para desenvolver alimentos com propriedades benéficas para a saúde, por conservar os nutrientes e as propriedades dos alimentos por ser um processo de alta temperatura e tempo curto. A extrusão, segundo o tipo de matéria prima, é preferível frente a outras tecnologias por que produz uma alta retenção de nutrientes. Na **Tabela 3**, podem-se observar as aplicações das extrusão em diferentes campos.

Durante a extrusão de matérias cruas estão envolvidas diversas mudanças químicas e estruturais como gelatinização do amido, desnaturação da proteína, formação de complexos entre amilose e lipídeos, e a degradação de vitaminas e pigmentos, por outro lado a fibra alimentar tende a aumentar há inativação de alguns fatores antinutricionais como inibidores de tripsina, taninos e fitatos, destruição de toxinas naturais e esterilização do produto final (MAKARAVICIUS et al., 2012).

Tabela 3. Aplicação da extrusão nos diversos tipos de indústrias

Alimentação humana

Cereais pronto para comer
Snacks (salgados e doces)
Alimentos para bebês
Sopas instantâneas
Farinhas para pão, entre outras
Proteína vegetal texturizada
Substitutos de proteína animal
Misturas enriquecidas de farinhas
Substitutos de laticínios
Aditivos para padaria
Amido modificado
Massas
Bebidas em pó
Biscoitos (salgados e doces)
Produtos dietéticos
Cereais e vegetais pré-cozidos

Alimentação animal

Alimentos para ruminantes, porco, aves, peixes, camarão, entre outros
Alimento para animais de estimação
Produtos de resíduos industriais, processados para reaproveitamento

Usos industriais

Indústria de papel
Indústria de biofilmes
Indústria têxtil
Indústria metalúrgica
Indústria do petróleo
Adesivos
Coadjuvante, inseticidas, fungicidas
Processos de compostura, plásticos biodegradáveis, etc.

Fonte: Berrios; Ascheri e Losso (2013).

2.5 Antioxidantes

O processo de oxidação nos organismos vivos é essencial para a produção de energia para os processos biológicos, contudo, os radicais livres e outras espécies reativas de oxigênio (ROS) são continuamente produzidos (CHYAU et al., 2002), estes são parte da defesa contra as bactérias (HALLIWELL, 1991). O equilíbrio entre a produção e a neutralização de ROS mediante antioxidantes é muito delicado tendendo a uma maior produção de ROS e as células sofrem conseqüentemente o estresse oxidativo (WIERNSPERGER, 2003) e causam morte da célula e danos nos tecidos quando os antioxidantes endógenos não conseguem eliminá-los. Os radicais livres estão relacionados a doenças como arteriosclerose, diabetes, câncer, entre outras. (CHYAU et al., 2002). O radical livre é definido como uma molécula que pode existir independentemente com um ou mais elétrons despareados (HALLIWELL e GUTTERIDGE, 1999).

Nos sistemas vivos, os radicais livres são predominantemente representados por ROS (**Figura 4**). As formas mais comuns de ROS são: ânion superóxido ($O_2^{\bullet-}$), peróxido de hidrogênio (H_2O_2), radical hidroxila (OH^{\bullet}), íon hidroxila, e o oxigênio singlete (1O_2).

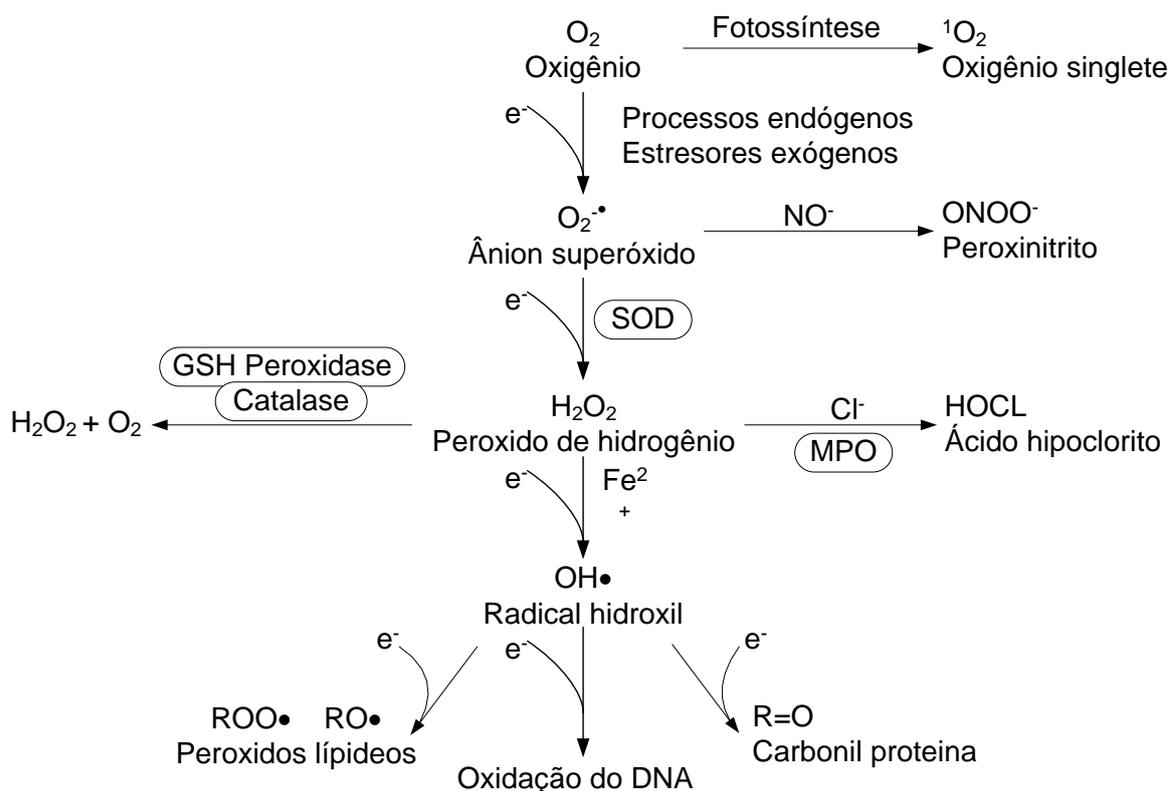


Figura 4. Geração de espécies reativas de oxigênio; SOD: superóxido dismutase; GSH Peroxidase: glutatona reduzida; MPO: mieloperoxidase adaptado de Chen; Hu e Wang (2012).

Os ROS adicionam elétrons a moléculas que estejam perto para voltar a seu estado estável. A reação prossegue como uma cadeia causando danos (CHEN, HU e WANG, 2012; CAROCHO e FERREIRA, 2013). Os organismos vivos têm uma proteção contra os radicais livres mediante as enzimas superóxido dismutase (SOD) e catalase, ou alguns compostos como ácido ascórbico, tocoferol e glutatona (CHYAU, KO e MAU, 2006). Quando os mecanismos de proteção do organismo perdem o balance por causa de fatores como estresse, deterioração de funções fisiológicas, idade, doenças, entre outras, resulta em estresse oxidativo e consequentemente doenças (LUDWIG et al., 2012). Muitas doenças crônicas como câncer, doenças coronárias, e doenças degenerativas são associadas ao estresse oxidativo (LUDWIG et al., 2012). O corpo humano possui um complexo sistema de enzimas naturais e defensas não enzimáticas os quais interagem com os efeitos adversos dos radicais livres (ALAM, BRISTI e RAFIQUZZAMAN, 2013).

Existem fatores externos que promovem a produção de radicais livres como: a fumaça do cigarro, poluição, radiação, drogas, pesticidas, solventes industriais, raios infravermelhos, álcool, idade, doenças em geral, entre outros (LOBO et al., 2010). Entretanto suplementos antioxidantes ou alimentos que contêm antioxidantes podem ajudar na saúde e reduzir os danos causados pela oxidação. (CHYAU, KO e MAU, 2006). Os antioxidantes (**Figura 5**) têm um papel importante na proteção contra doenças por reagir e sequestrar os radicais livres, reduzindo peróxidos, sequestrando metais, e estimulando o sistema de defesa do corpo mediante as enzimas antioxidativas (NAYAK et al., 2011).

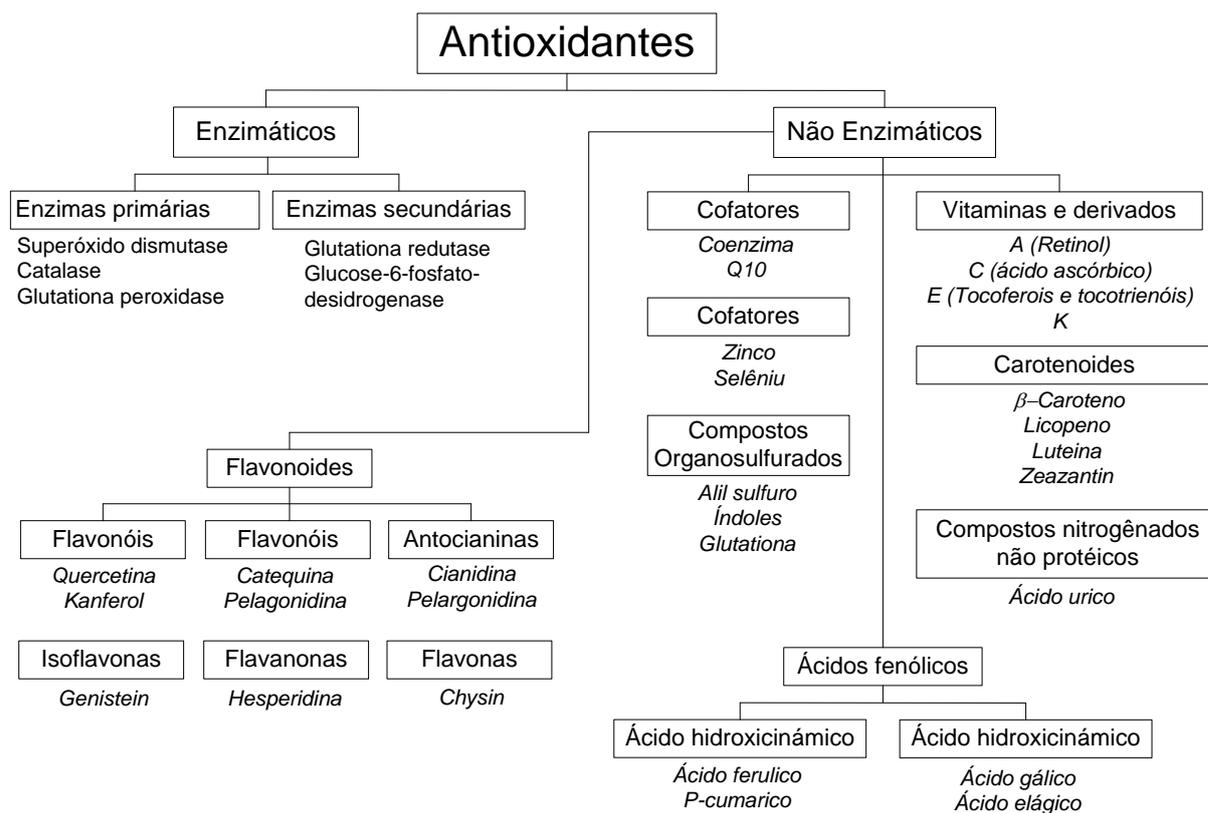


Figura 5. Distribuição esquemática dos antioxidantes naturais. Adaptado de Carochi e Ferreira (2013).

A proteção contra aos radicais livres pode ser melhorada mediante a ampliação de dietas ricas em antioxidantes. Existe uma concordância crescente entre os cientistas que o consumo de antioxidantes é mais efetivo quando ingeridos por longos períodos. Diversos trabalhos indicam que existe uma relação inversa entre o consumo de alimentos ricos em antioxidantes e a incidência de doenças (KRISHNAIAH, SARBATLY e NITHYANANDAM, 2011).

A capacidade antioxidante do café é atribuída tanto aos antioxidantes presentes originalmente nos grãos de café como os fenóis, quanto aos compostos originados resultantes da torrefação, como é o caso da reação de maillard (GÓMEZ-RUIZ, LEAKE e AMES, 2007; LUDWIG et al., 2012). Dentre os motivos de interesse para o uso do sorgo esta relacionado com a baixa digestibilidade do amido, alto conteúdo de polifenóis e sua capacidade antioxidante para o desenvolvimento de alimentos funcionais para a redução de doenças crônicas (YOUSIF, NHEPERA e JOHNSON, 2012), segundo Dlamini, Taylor e Rooney (2007), o sorgo tem o maior nível de antioxidantes quanto comparados com outros cereais ate agora estudados.

2.5.1 Atividade antioxidante frente ao radical DPPH⁺

Entre os métodos de avaliação de atividade antioxidante o método de DPPH é o mais rápido, simples e barato quando comparados com outros métodos (ALAM, BRISTI e RAFIQUZZAMAN, 2013). O radical 2,2-difenil-1-picril-hidrazil ou DPPH é um radical livre estável à temperatura ambiente (BADARINATH et al., 2010) e amplamente usado para avaliar a atividade sequestrante dos compostos antioxidantes. Este método é baseado na

redução da solução de DPPH na presença de um doador antioxidante de hidrogênio com a consequente formação de um não radical DPPH-H (BLOIS, 1958). Esta transformação resulta numa troca de cor desde violeta-escuro até amarelo claro e é medido por um espectrofotômetro a 515 nm (CHANDA e DAVE, 2009; BADARINATH et al., 2010; CAROCHO e FERREIRA, 2013). O teste de atividade antioxidante pode ser feito tanto usando o 2,2-difenil-1-picril-hidrazil como o 1,1-difenil-2-picril-hidrazil segundo o método (CHANDA e DAVE, 2009). Este teste é um dos mais utilizados para plantas medicinais (KRISHNAIAH, SARBATLY e NITHYANANDAM, 2011). O DPPH (**Figura 6**) é solúvel em solventes orgânicos (LÓPEZ-ALARCÓN e DENICOLA, 2013).

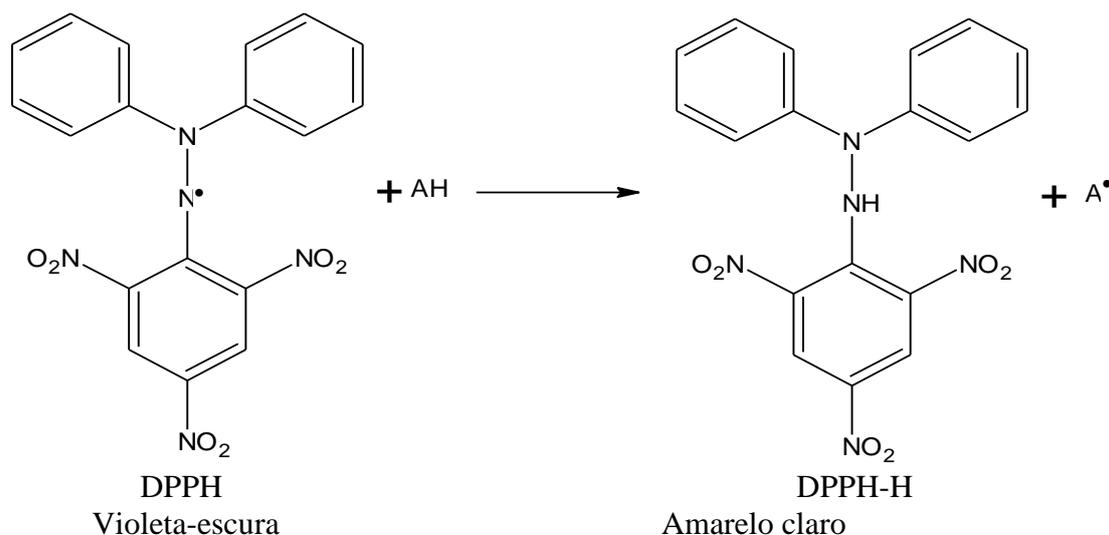


Figura 6. Estrutura do DPPH antes e depois da reação com o antioxidante AH, adaptado de Alam, Bristi e Rafiquzzaman (2013).

2.5.2 Atividade antioxidante frente ao radical ABTS^{•+}

O método foi desenvolvido por Evans and Miller em 1994 e modificado por Re et al. em 1999. O método indireto do sequestro de radical ABTS 2,2'-azinobis (3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico) também é muito utilizado. Assim como o DPPH[•], o ABTS^{•+} apresenta excelente estabilidade em determinadas condições de análise. Porém, estes radicais apresentam algumas diferenças importantes: o radical DPPH[•] pode ser utilizado diretamente; o ABTS^{•+} necessita ser gerado antes por reações químicas (como o persulfato de potássio). O método do ABTS também é baseada em espectrofotometria aproveitando a cor dos reagentes e é aplicável para antioxidantes hidrofílicos e lipofílicos (KRISHNAIAH, SARBATLY e NITHYANANDAM, 2011; ALAM, BRISTI e RAFIQUZZAMAN, 2013). O radical ABTS^{•+} (**Figura 7**) da cor verde-claro é gerado através da oxidação do ABTS sem cor com persulfato de potássio (CHANDA e DAVE, 2009; KRISHNAIAH, SARBATLY e NITHYANANDAM, 2011) e, é um radical estável (ALAM, BRISTI e RAFIQUZZAMAN, 2013) que é reduzido em presença de um doador de hidrogênio ou antioxidante até perder a cor. Esta perda de cor é medida em espectrofotômetro a 734 nm (KRISHNAIAH, SARBATLY e NITHYANANDAM, 2011; CAROCHO e FERREIRA, 2013).

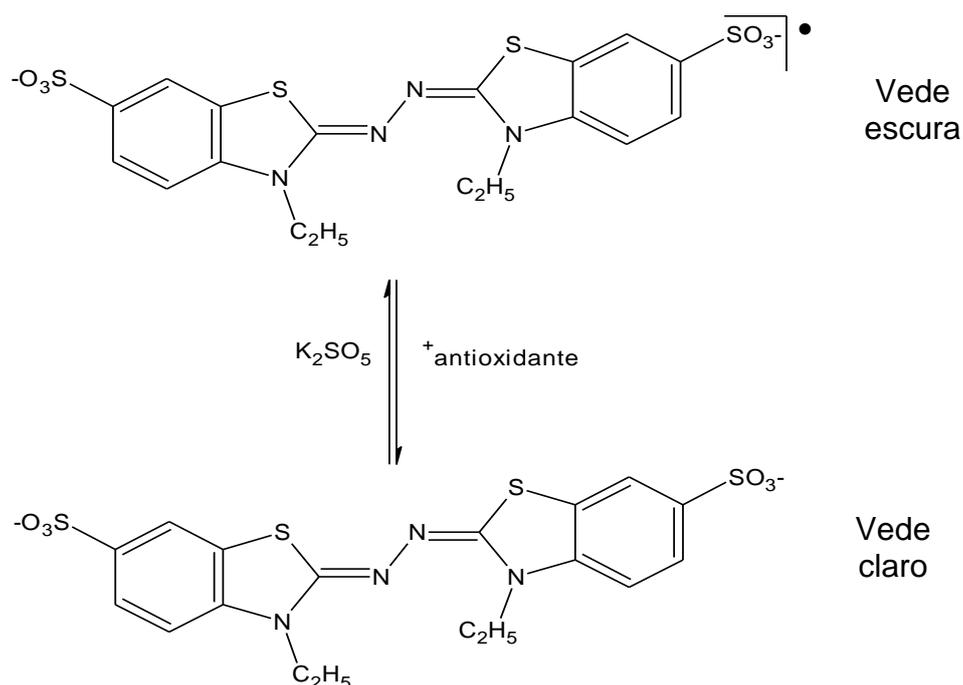


Figura 7. Redução do $ABTS^{\bullet+}$ por um antioxidante e sua formação pelo persulfato de potássio (HUANG, OU e PRIOR, 2005).

2.6 Compostos fenólicos

Os compostos fenólicos (**Figura 8**) são metabólitos reativos abundantes em alimentos de origem vegetal, especialmente frutas, sementes e folhas. Embora uma ingestão excessivamente possa ser tóxica os fenólicos podem exercer atividade preventiva contra as doenças infecciosas e degenerativas, cardiovasculares, e também pode ajudar a prevenir doenças bucais, através de mecanismos como a atividade antioxidante e neutralização, modulação de proteínas, enzimas humano, bacterianos e virais (PETTI e SCULLY, 2009). Os efeitos para a saúde dependem da quantidade consumida e da biodisponibilidade (MANACH et al., 2004).

Segundo alguns estudos realizados no Departamento de Agricultura dos Estados Unidos o número de compostos fenólicos (**Figura 8**) conhecidos é muito inferior a quantidade realmente existente nos alimentos (TRESSERRA-RIMBAU et al., 2012). Eles constituem um grande grupo de fotoquímicos com mais de 8.000 compostos identificados (EBRAHIMI e SCHLUESENER, 2012). Os fenólicos são metabólitos da planta caracterizados pela presença de vários grupos fenólicos (isto é, anéis aromáticos com hidroxilas), que derivam da L-fenilalanina. As classes importantes são os ácidos fenólicos, que incluem estruturas poliméricas, tais como taninos hidrolisáveis, lignanas, estilbenos e flavonoides. Os flavonoides incluem: quercetina e kaempferol, entre os mais onipresentes nos alimentos são: flavonas, isoflavonas, flavanonas, antocianidinas. (pigmentos responsáveis pela cor da maioria das frutas), flavonoides (catequinas-monômeros e proantocianidinas-polímeros, conhecido como taninos condensados) (PETTI e SCULLY, 2009). Além dos benefícios para a saúde, os compostos fenólicos nos alimentos naturais e processados também atuam como antioxidantes e sequestradores de radicais livres, melhorando a vida-de-plataleira e a aceitabilidade dos produtos extrudados (BRENNAN et al., 2011).

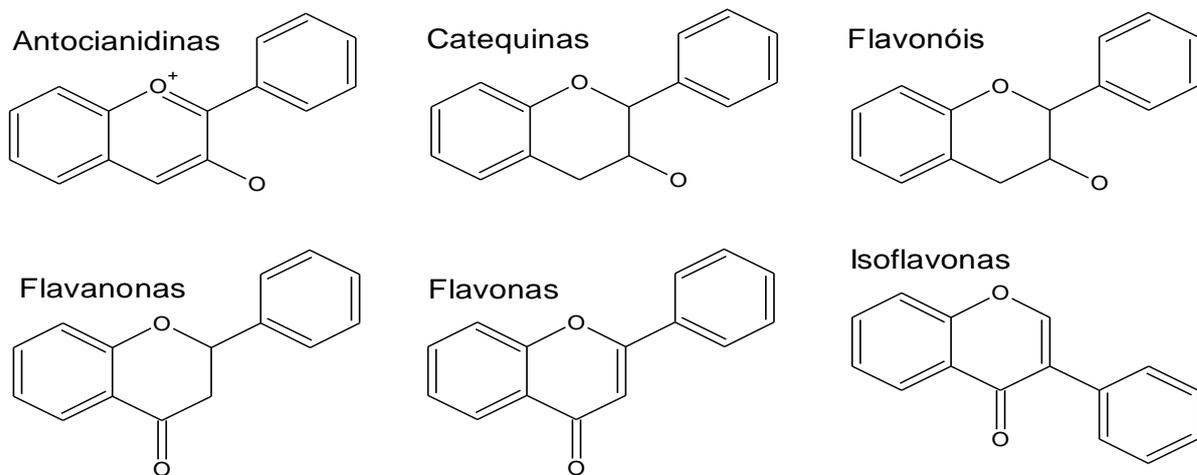


Figura 8. Estrutura química de compostos fenólicos (MANACH et al., 2004).

Os ácidos fenólicos do sorgo existem grandemente como benzoicos ou cinâmicos e ácidos derivados, como em outros cereais estes compostos então, principalmente concentrados na casca (AWIKA e ROONEY, 2004).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Local de Execução

O estudo foi conduzido na Embrapa Agroindústria de Alimentos: planta piloto de cereais e extrusão e os laboratórios de físico-química e de cromatografia líquida.

3.2 Matéria Prima

3.2.1 Café

O pó de café (*Coffea arabica* L.) torrado por torra tradicional e moído, foi adquirido no mercado de Campo Grande.

3.2.2 Sorgo

Foram utilizados grãos integrais de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) cultivares 9929026 com conteúdo de taninos e 2012038 sem taninos, fornecidas pela Embrapa Milho e Sorgo, doravante serão denominados cultivar A e B respectivamente. Na **Figura 9** podem-se observar as duas cultivares.



Figura 9. Grãos integrais de genótipos de sorgo. (A) Cultivar 9929026, (B) Cultivar 2012038.

3.3 Métodos

3.3.1 Composição centesimal das matérias primas

3.3.1.1 Determinação da umidade

O teor de umidade foi determinado através do método 925.09 modificado, AOAC (2010).

3.3.1.2 Lipídeos

O extrato etéreo foi determinado utilizando-se o extrator Soxhlet, segundo a metodologia da AOAC (2010), método 945.38, com solvente, éter de petróleo.

3.3.1.3 Proteína bruta

O teor de nitrogênio total foi determinado por Kjeldahl tradicional, segundo a metodologia do método 2001.11 modificado da AOAC (2010). O fator de 5,75 foi usado para converter nitrogênio total em proteína total.

3.3.1.4 Cinzas

Por incineração do material em mufla a 550 °C, segundo a metodologia da AOAC (2010), método 923.03 representando o teor total de substâncias inorgânicas presentes na amostra.

3.3.1.5 Fibra Alimentar

Foi determinado pelo método: enzimático-gravimétrico 985.29 da AOAC (2010).

3.3.1.6 Carboidratos totais

Os carboidratos totais foram calculados pela diferença entre a massa total e a soma das percentagens de proteína, extrato etéreo, cinzas e umidade. A fração livre de nitrogênio representa a concentração de carboidratos totais, excluindo-se a fibra alimentar.

3.3.2 Composição em minerais

Foram quantificados os seguintes minerais (mg.100 g⁻¹): sódio (Na), potássio (K), magnésio (Mg), cálcio (Ca), manganês (Mn), ferro (Fe), zinco (Zn), cobre (Cu), fósforo (P), cobalto (Co), cromo (Cr), molibdênio (Mo), selênio (Se), chumbo (Pb) e alumínio (Al). A mineralização foi realizada por micro-ondas de cavidade, método 999.10, item 9.1.08 (AOAC, 2010). A quantificação foi efetuada pelo método 990.08, item 9.2.39 (AOAC, 2010). Todos os minerais foram quantificados em duplicata.

3.3.3 Distribuição granulométrica das farinhas integrais de sorgo

A farinha de sorgo integral (100 g) foi peneirada, em peneiras padronizadas de aço inox (Newark, U.S.A.), arredondadas de diferentes aberturas, após 10 min de peneiramento em ROTAP RX-29-10 (W.S. Tyler, St. Albans, WV, USA). Foram utilizadas peneiras de abertura 2,00; 1,68; 1,4; 1,18; 0,85; 0,6 e 0,212 mm. As frações retidas em cada peneira foram pesadas em balança semi-analítica GT4100 (Ohaus, Precision Advanced).

3.3.4 Obtenção da farinha pré-cozida de café e sorgo por extrusão

A obtenção das farinhas integrais foi feita segundo fluxograma apresentado na **Figura 10**. Os grãos de sorgo foram moídos utilizando um moinho de discos LM3600 (Perten Instruments AB; Huddinge, Suécia) com abertura de luz n°6 entre discos. As proporções para

os diferentes níveis de pó de café e farinha de sorgo foram feitas conforme ao delineamento experimental. As misturas foram homogeneizadas por 15 minutos em misturador de massa, sendo determinado o teor de umidade por gravimetria através da dessecação do material a 105°C até peso constante, segundo o método gravimétrico 925.09 da AOAC (2010).

Todas as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos individuais e armazenadas sob refrigeração durante 24 horas, para se obter uma distribuição e absorção uniforme da água.

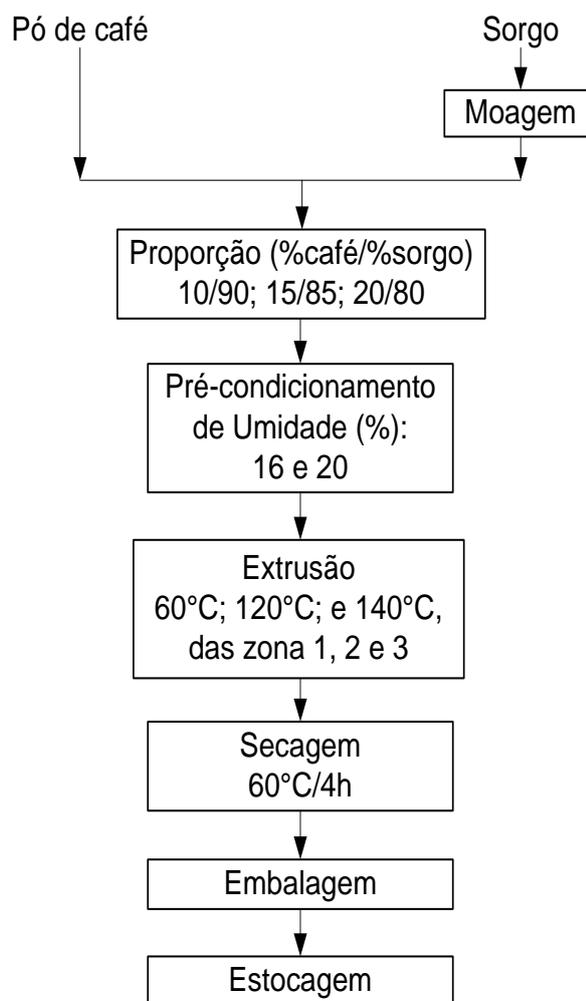


Figura 10. Fluxograma do processo de extrusão das farinhas de café e sorgo.

Após a determinação da umidade das misturas foi adicionada água a fim de alcançar as umidades estabelecidas segundo o desenho experimental de cada formulação. A quantidade de água adicionada se precisa adicionar foi calculada pela equação (1), de acordo com (MATHIAS, 2002; MADEIRA, 2007; SILVA, 2009).

Equação 1.
$$W_a = \frac{(U_f - U_i) * P_a}{100 - U_f}$$

Onde: W_a é quantidade de água a ser adicionada (mL); U_f é a umidade final da amostra (%); U_i é a umidade inicial da amostra (%); P_a é o peso da amostra (g)

3.3.5 Condições de extrusão

Para a elaboração dos extrudados foi utilizado um extrusor monorosca (BRABENDER, modelo DSE 20DN), cujos parâmetros constantes foram velocidade de rotação do parafuso (180 rpm), taxa de compressão do parafuso (3:1), taxa de alimentação: (50 rpm) e matriz de saída (3 mm de diâmetro). O extrusor possui 3 zonas de aquecimento, controladas através de termopares. As temperatura das zonas 1, 2 e 3 (alimentação, transição e alta pressão) foram mantidas a 60, 120, e 140°C respectivamente. A extrusão de cada amostra foi iniciada depois que as 3 zonas alcançarem as temperaturas desejadas e o fluxo de processamento estabilizado. O produto final foi coletado manualmente.

Os extrudados foram submetidos à secagem em estufa com circulação de ar a 60 °C por 4 h, em seguida resfriados à temperatura ambiente. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos, lacrados, etiquetados, e armazenadas em local seco à temperatura ambiente para análises.

3.3.6 Propriedades físicas dos produtos extrudados

3.3.6.1 Determinação da vazão do processo de extrusão e densidade aparente

A determinação da vazão foi realizada coletando em sacos de plástico previamente tarados uma quantidade de massa extrudada na saída da matriz durante 30 s. A massa coletada foi pesada em balança semi-analítica SB12001 (Mettler Toledo, Suíza). O fluxo mássico ou vazão foi calculada através da equação (2) e expressa em kg/h.

Equação 2.
$$V = \frac{m}{t} \left(\frac{3600}{1000} \right)$$

Onde: V é a Vazão (kg/h); m é a massa em (g); t é o tempo (s)

Para a densidade aparente foi registrada a massa (m) de extrudados de aproximadamente 3 mm de comprimento em balança analítica e calculou-se a densidade aparente do produto extrudado (ρ_e) utilizando a equação (3):

Equação 3.
$$\rho_e = \frac{4 \times m}{\pi \times D^2 \times L}$$

Onde: ρ_e é a densidade aparente; m é massa; D é o diâmetro médio e L é o comprimento.

3.3.6.2 Determinação do índice de expansão

Na **Figura 11**, pode-se observar o diagrama da expansão do extrudado na saída do extrusor. O índice de expansão radial (IER), índice de expansão longitudinal (IEL) e o índice de expansão volumétrico (IEV) dos extrudados foram determinados de acordo com a metodologia descrita por Alvarez-Martinez, Kondury e Harper (1988).

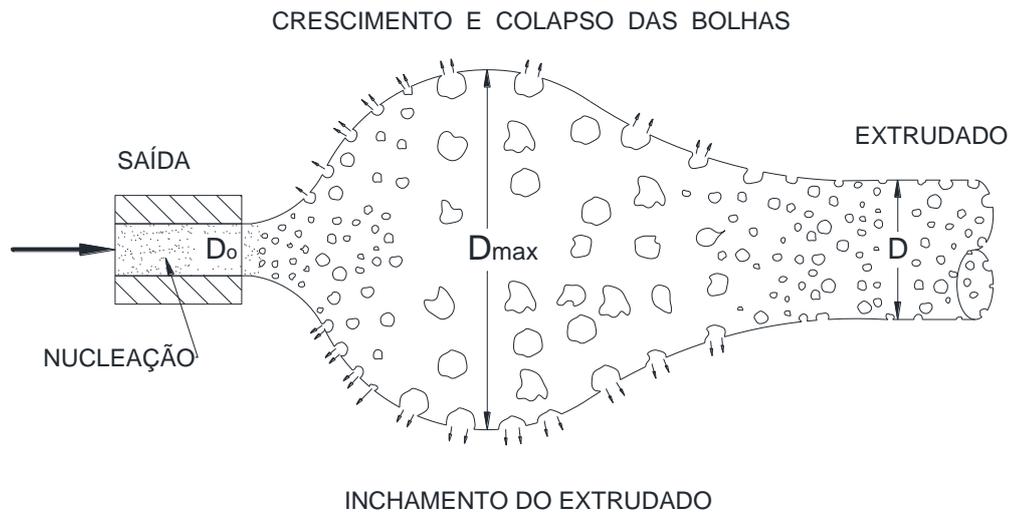


Figura 11. Diagrama esquemático da expansão do extrudado, adaptado de Kokini, Chang e Lai (1992).

Para a determinação do IER, equação (4), foram medidos os diâmetros de início, meio e final de cada extrudado, para depois ter a média do diâmetro (D).

O IEL e o IEV foram calculadas através das equações (5) e (6) respetivamente.

Equação 4.

$$IER = \left(\frac{D}{D_0} \right)^2$$

Equação 5.

$$IEL = \left(\frac{\rho_d}{\rho_e} \right) \left(\frac{1}{IER} \right) \left(\frac{1-M_d}{1-M_e} \right)$$

Equação 6.

$$IEV = (IER) \times (IEL)$$

Onde: ρ_d é a densidade do produto fundido dentro do extrusor antes da saída pela matriz, considerada como 1400 kg.m^{-3} (densidade do amido); ρ_e é a densidade do produto extrudado; M_d é a umidade da massa em base úmida do produto fundido dentro do extrusor; M_e é a umidade em base úmida do produto extrudado.

3.3.6.3 Determinação do índice de solubilidade em água (ISA) e índice de absorção de água (IAA)

Os extrudados foram moídos em moinho de discos LM3600 (Perten Instruments AB; Huddinge, Suécia) com abertura de luz nº2 entre discos, e seguidamente em moinho de martelos LM3100 (Perten Instruments AB, Huddinge, Suécia) com uma peneira de 0,8 mm de abertura. Cem gramas das farinhas obtidas foram peneiradas peneirador ROTAP RX-29-10 (W.S. Tyler, St. Albans, WV, USA). A fração de farinhas peneiradas entre 106 e 212 μm foi

usada na determinação do índice de solubilidade em água, índice de absorção de água e viscosidade de pasta (BECKER, HILL e MITCHELL, 2001).

Realizou-se a determinação do ISA e IAA segundo o método descrito por Anderson; Conway, Pfeifer et al. (1969), Uma massa de 1 g de amostra foi transferida para um tubo de centrífuga, adicionou-se 5 mL de água deionizada, misturou-se por 20 s em vórtex (Genie 2 Scientific Industries, Bohemia, NY, USA) e, em seguida, adicionou-se 5 mL de água deionizada. Depois, foi mantida a 25 ± 0.5 °C durante 30 min sob agitação em um banho maria Dubnoff NT 232 (Novatecnica, Piracicaba, SP, Brasil) para permitir hidratação completa. Depois foi centrifugado a 9000 rpm a 25 °C durante 15 min em uma centrífuga Universal 320R (Hettich, Tuttingen, Alemanha). O sobrenadante foi cuidadosamente transferido para um prato de evaporação previamente tarado e seco em estufa com circulação de ar (WTB Brinder, Tuttlinger, Alemanha) a 105 °C durante 4 h para a medição de sólidos solúveis totais. Logo após a retirada do líquido sobrenadante, os tubos foram pesados para calcular o peso do resíduo retido no fundo do tubo de centrífuga (m_a). As equações (7) e (8) adaptada por Hashimoto e Grossmann (2003) foram usadas para os cálculos.

Equação 7.
$$ISA = \left(\frac{m_s}{m} \right) \times 100\%$$

Equação 8.
$$IAA = \left(\frac{m_a}{m} \right) = \frac{\text{g gel}}{\text{g materia seca}}$$

Onde: *ISA* é o índice de solubilidade em água; m_s é o masa de sólidos solúveis em água; m é a massa original da amostra; *IAA* é o índice de absorção de água e m_a é a massa do gel formado no tubo.

3.3.6.4 Determinação da viscosidade de pasta

A viscosidade de pasta das amostras foi determinada com o uso do analisador rápido de viscosidade (Rapid Visco Analyser – RVA), Series 4 (Newport Scientific, Warriewood, NSW, Austrália) provido do software Thermocline for Windows. Foram utilizadas 3 g de farinha extrudada, com umidade corrigida para 14 %, em base úmida, e em seguida adicionou-se água destilada até a obtenção do peso final de 28 g, conforme metodologia descrita por Whalen et al. (1997). O perfil de análise utilizado foi “extrusion 1 no-alcohol”, que apresenta como característica a manutenção inicial do sistema a 25 °C durante 2 min. O aquecimento ocorreu em seguida e aos sete minutos a temperatura máxima foi atingida (95 °C), onde permaneceu por 4 min. Logo após, o resfriamento foi iniciado até a temperatura de 25 °C, totalizando vinte minutos de análise.

Para interpretação dos viscoamilogramas foram utilizados os parâmetros apresentados na **Figura 12**:

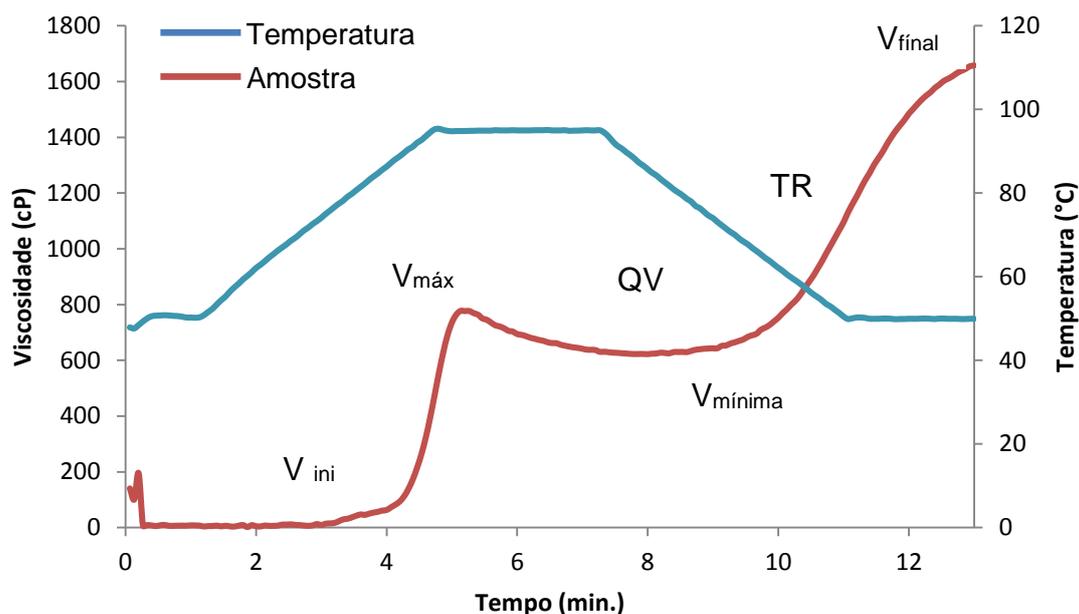


Figura 12. Curva viscoamilográfica de pasta de uma farinha crua de sorgo, com agitação constante e perfil de temperatura de aquecimento-resfriamento.

- A) Viscosidade inicial ou viscosidade a frio ($V_{Inicial}$): é o valor da viscosidade em cP (Centipoise), na temperatura de 25 °C, no início do ciclo de aquecimento;
- B) Viscosidade máxima ($V_{Máxima}$): é o valor da viscosidade no ponto máximo da curva, obtido durante o ciclo de aquecimento, expresso em cP;
- C) Viscosidade mínima após o ciclo de aquecimento a 95 °C ($V_{Mínima}$);
- D) Quebra de viscosidade (QV) ou “Breakdown”: é a diferença entre a viscosidade máxima e mínima durante a manutenção a 95 °C;
- E) Viscosidade final no ciclo de resfriamento (V_{Final}): é o valor da viscosidade em cP, ao final da análise (a 25 °C);
- F) Tendência à retrogradação (TR) ou “Setback”: é a diferença entre a viscosidade final e o menor valor de viscosidade durante a manutenção à 95 °C.

A quebra de viscosidade (QV) ou “Breakdown” é calculada por médio da equação 9 e a tendência à retrogradação (TR) ou “Setback” é calculada pela equação 10.

Equação 9.
$$QV = V_{max} - V_{min}$$

Equação 10.
$$TR = V_{fin} - V_{min}$$

3.3.6.5 Avaliação da textura instrumental ou grau de crocância

A textura instrumental foi determinada de acordo com a metodologia descrita por Bouvier (1997). As amostras usadas na determinação do IER foram secas em forno com circulação de ar (WTB Binder, Tuttlinger, Alemanha) a 60 °C por 4 h até atingir uma umidade inferior a 4 %. Em seguida as peças foram resfriadas em dessecador até temperatura ambiente. As propriedades mecânicas dos extrudados foram medidas com um analisador de textura TA-

XT Plus (Stable Micro Systems, Surrey, Inglaterra) equipado com uma carga de 50 kg, na qual foi acoplada uma sonda cilíndrica de aço inox de 5 cm de diâmetro. A sonda desceu a 5 mm.s^{-1} quando atingiu uma força de contato de 0,196 N sob a amostra, a pressão se iniciou a 1 mm.s^{-1} até o 50 % do diâmetro do extrudado. Após a sonda ascendeu a 10 mm.s^{-1} até uma altura de 20 mm do extrudado. Foram feitas 20 repetições por ensaio. Os dados foram registados pelo software Exponent versão 6.1.2.0 (Stable Micro Systems, Surrey, Inglaterra). Como resultado da interpretação do gráfico na **Figura 13**, avaliou-se o critério de crocância seguindo as equações 11 a 14:

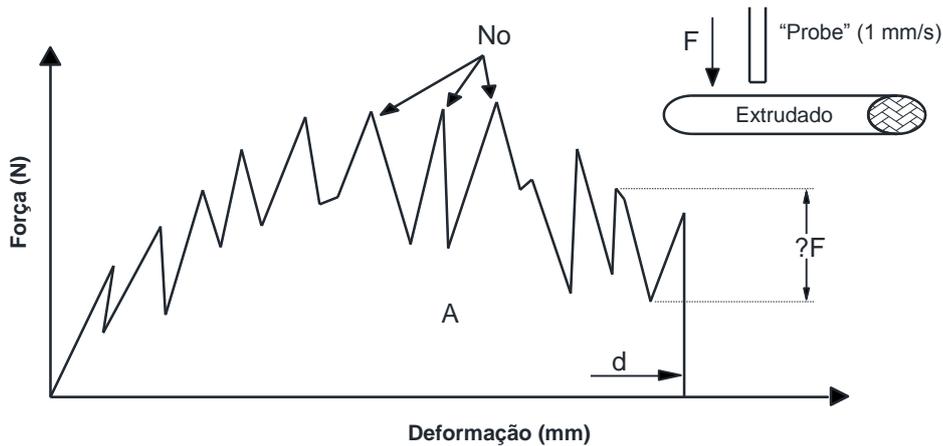


Figura 13. Representação gráfica do resultado típico da força de compressão aplicada sobre um extrudado expandido (BOUVIER, BONNEVILLE e GOULLIEUX, 1997).

- Frequência de rupturas N_{sr} em mm^{-1}

Equação 11.
$$N_{sr} = \frac{N_o}{d}$$

Onde: N_{sr} é a frequência de rupturas (mm^{-1}); N_o é o número total de picos e d é a distância de compressão do produto (mm).

- Média da força específica das rupturas F_{sr} em N:

Equação 12.
$$F_{sr} = \sum \frac{\Delta F}{N_o}$$

Onde: F_{sr} é a média da força específica das rupturas (N); ΔF é a força de queda aplicada que foi gerada por cada pico; N_o é o número total de picos.

- Média da força de compressão F_c em N:

Equação 13.
$$F_c = \frac{A}{d}$$

Onde: F_c é a força de compressão (N); A é a área sob a curva de forças de compressão e d é a distância de compressão do produto (mm)

Trabalho de crocância W_c em N·mm:

Equação 14.
$$W_c = \frac{A}{N_{sr}}$$

Onde: W_c é o trabalho de crocância (N.mm); N_{sr} é o número de rupturas e A é a área sob a curva de forças de compressão.

3.3.6.6 Determinação de cor

O preparo da amostra seguiu os mesmos passos que no item 3.3.6.3, e a quantificação instrumental de cor foi realizada por reflectância no aparelho colorímetro Color Quest XE, escala CIELAB e CIELCh, com abertura de 0,375 mm de diâmetro, com iluminante D65/10. As amostras foram dispostas em cubeta de quartzo de 10 mm a color foi registrada usando uma escala CIE-L*a*b* (CIE-Lab). Na **Figura 14**, esta representada a distribuição da cor segundo o sistema CIE-Lab.

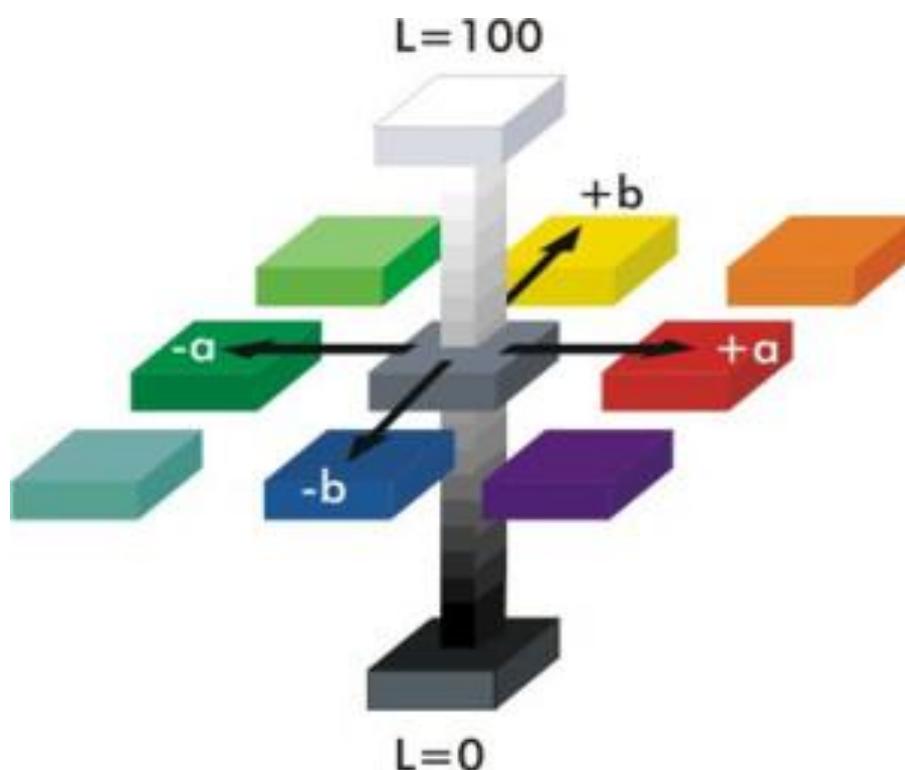


Figura 14. Representação de modelo de cor de Hunterlab, L*, a*, b* (JANIN et al., 2001).

Os parâmetros de cor medidos em relação à placa branca ($L = 90,20$; $a = -2,34$; $b = 1,38$) foram os seguintes:

L^* = Luminosidade (0 = preto e 100 = branco);

a^* = Cromaticidade a (-80 até zero = verde, do zero ao +100 = vermelho);

b^* = Cromaticidade b (-100 até zero = azul, do zero ao +70 = amarelo);

C = Chroma; $C = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$ representa a distância radial no plano a^* e b^* em um sistema de coordenadas polares;

h° = ângulo hue = $\arctan(b^*/a^*)$ representa o ângulo no plano a^* e b^* em um sistema de coordenadas polares.

A diferença total de cor (ΔE) foi determinada usando a equação (15).

Equação 15.
$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2}$$

3.3.7 Propriedades antioxidantes

Os testes foram realizados nos extrudados moídos que apresentaram os melhores resultados nos testes das propriedades físicas.

Para a obtenção dos extratos (**Figura 15**) pesou-se 1,0 g de amostra, e adicionou-se 10 mL de metanol 50 %, homogeneizou-se em vórtex e deixou em repouso por 60 min à temperatura ambiente. Centrifugou-se a 9000 rpm em uma centrífuga Universal 320R (Hettich, Tuttingen, Alemanha) durante 15 minutos, transferiu-se o sobrenadante para um balão volumétrico de 25 mL.

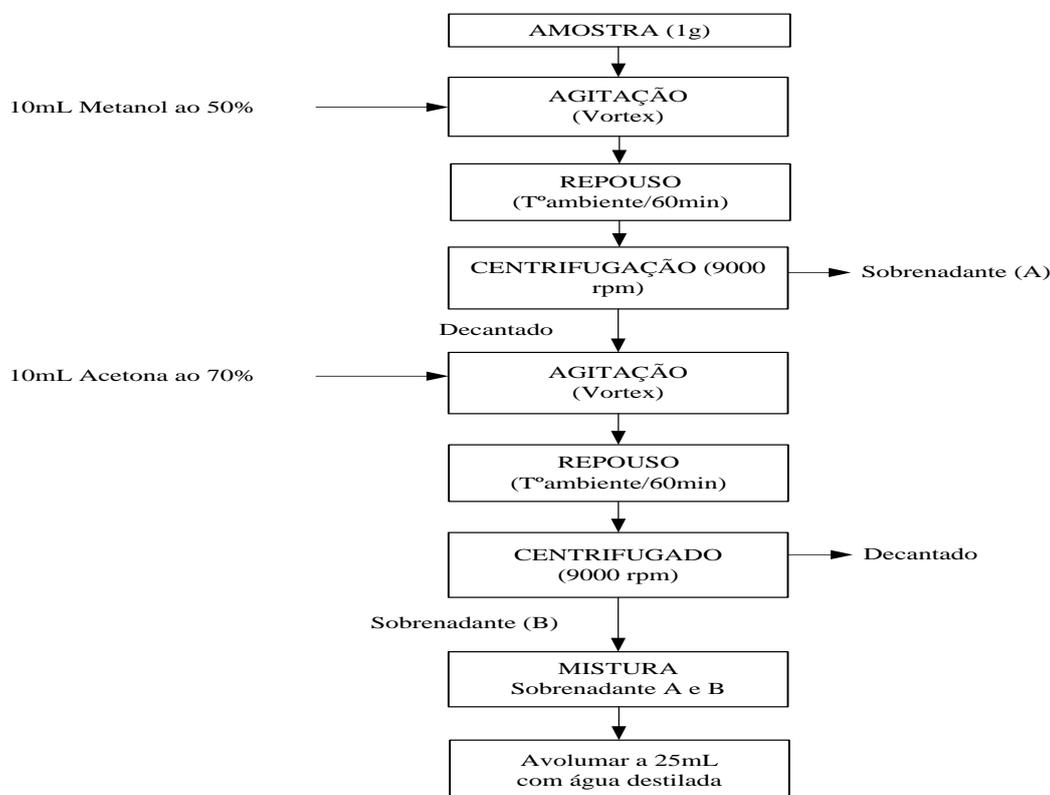


Figura 15. Fluxograma do processo de extração para as análises de capacidade antioxidante frente ao radical DPPH e ABTS, e para a quantificação dos compostos fenólicos totais.

A partir do resíduo da primeira extração, adicionou-se 10 mL de acetona 70 %, homogeneizou-se e foi deixado em repouso por 60 min à temperatura ambiente. Centrifugo novamente a 9000 rpm durante 15 min, o sobrenadante foi transferido para o balão volumétrico contendo o primeiro sobrenadante e completou-se o volume para 25 mL com água destilada, a mostra foi armazenada em refrigeração para posterior análises.

3.3.7.1 Capacidade antioxidante frente ao radical livre DPPH⁺

O método DPPH (**Figura 16**). Foi usado o método proposto por Brand-Williams; Cuvelier e Berset (1995) é baseado na captura do radical DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazil) cor violeta-escura, por antioxidantes, produzindo um decréscimo da cor até cor amarelo-claro. A absorvância foi medida a 515 nm em espectrofotômetro UV-1800 (Shimadzu Corporation, Kyoto, Japão). Para o preparo do radical, pesou-se 2,4 mg de DPPH e completou o volume para 100 mL em um balão volumétrico com álcool metílico. Homogeneizou-se e transferiu para um frasco de vidro âmbar, obtendo uma solução de 0,06 mM.

A partir dos extratos das amostras, preparou-se em tubo *ependorf* no mínimo 3 diluições diferentes em triplicata, para cada amostra. As concentrações máxima e mínima que foram usadas para cada amostra, foram as concentrações que apresentaram entre 90 % e 10 % de inibição do radical. Em ambiente escuro foi transferido uma alíquota de 25 µL de cada diluição do extrato com 975 µL do radical DPPH e homogeneizou-se. O álcool metílico foi usado como branco. As leituras foram feitas pós de 30 min. A partir das absorvâncias obtidas (eixo Y) das diferentes diluições dos extratos, foi elaborado uma curva considerando as concentrações das diluições no eixo X.

Os resultados foram calculados e expressos como a concentração efetiva a 50 % (EC₅₀) que é a quantidade que se precisa para inibir o 50 % do radical presente (BRAND-WILLIAMS, CUVELIER e BERSET, 1995).

A percentagem de inibição foi calculada segundo a equação (16) (CHANDA e DAVE, 2009; ALAM, BRISTI e RAFIQUZZAMAN, 2013).

Equação 16.
$$\% \text{ inibição do radical DPPH}^+ = \left(\frac{A_{br} - A_{ar}}{A_{br}} \right) \times 100$$

Onde: A_{br} é a absorvância do DPPH e A_{ar} é a absorvância depois da reação com a amostra.

3.3.7.2 Capacidade antioxidante frente ao radical livre ABTS⁺

O teste da capacidade antioxidante frente ao radical livre 2,2' azino-bis (3-ethylbenzo thiazoline-6-sulfonic acid-diammonium salt) ABTS⁺ (**Figura 17**), foi feito segundo o método desenvolvido por Van Overveld et al., 2000 apud Sandoval, Sandoval (2002a; 2002b). O radical tem uma cor verde esmeralda e é quantificado a 734 nm, e determinou-se a Atividade Antioxidante Total equivalente em trolox (TEAC). Para o preparo de ABTS⁺, foram pesados 0,0384 g de ABTS com 0,0066 g de persulfato de potássio e completado a 10 mL num balão volumétrico âmbar com água bidestilada, repousou durante 16 h para completar a reação à temperatura ambiente e escura. Seguidamente foi diluído o ABTS⁺ com etanol até ter uma leitura da absorvância de 0,7 ± 0,20 com o espectrofotômetro UV 1800 (Shimadzu Corporation, Kyoto, Japão).

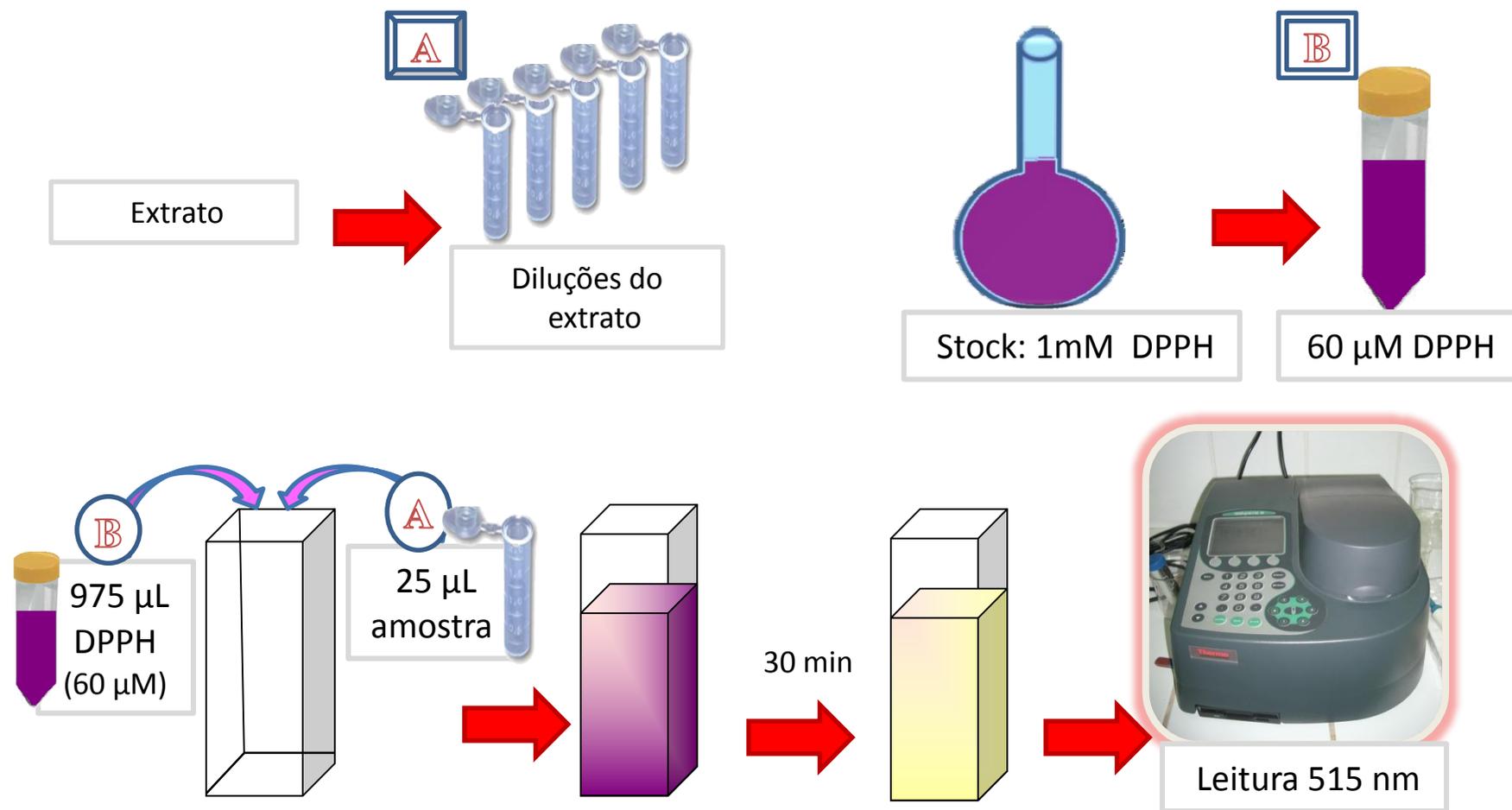


Figura 16. Roteiro para análises da capacidade antioxidante frente ao radical livre DPPH⁺.

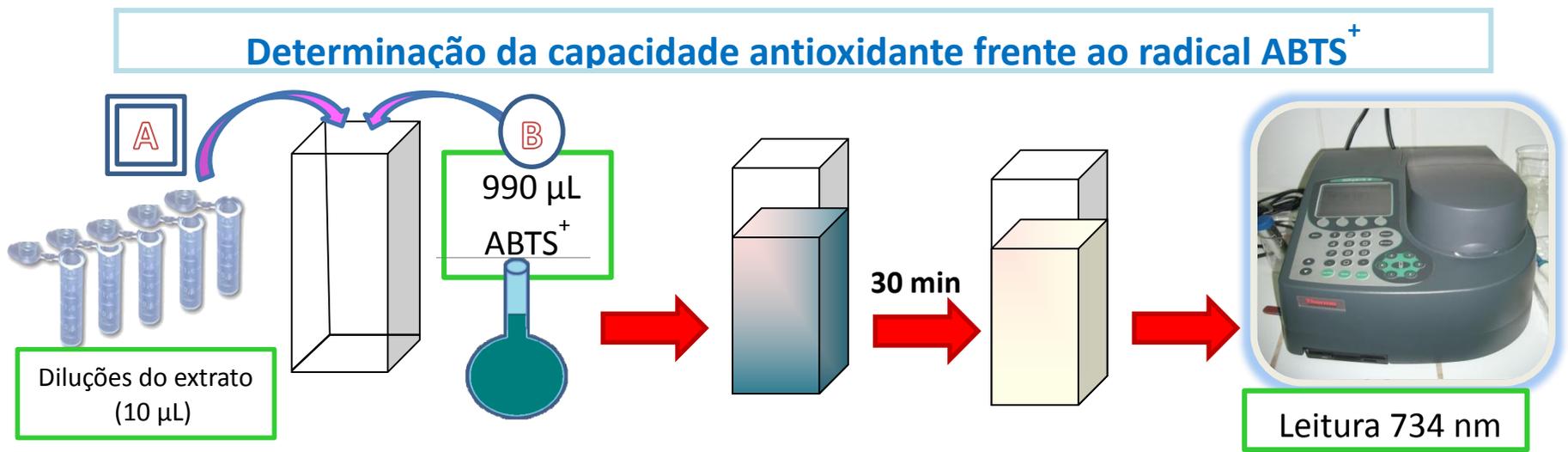
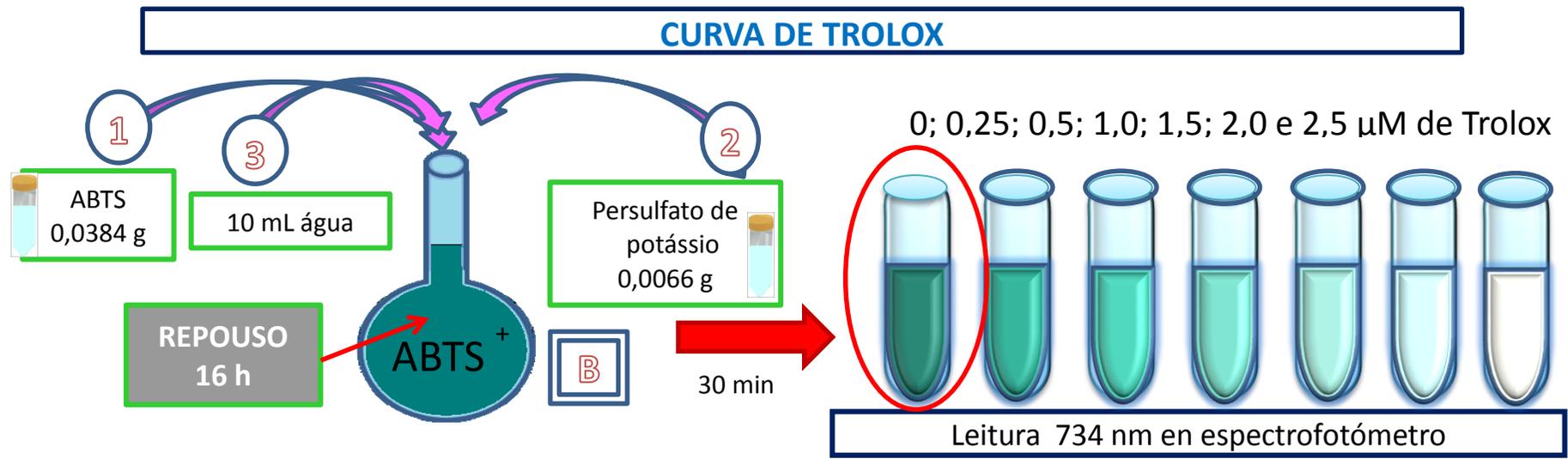


Figura 17. Rota para análises da capacidade antioxidante frente ao radical livre ABTS⁺.

Para a determinação da curva-padrão de trolox, pesou-se 0,05 g de ácido 6-Hydroxi-2,5,7,8-tetrametilchroman-2-ácido carboxílico (trolox) e completou-se para 10 mL em um balão volumétrico com álcool etílico, obtendo-se uma solução de 20 µM. Logo depois foram preparadas soluções de trolox de 2,5; 2,0; 1,5; 1,0; 0,5; 0,25 e 0 µM. Em ambiente escuro, imediatamente transferiu-se uma alíquota de 10 µL de cada solução de trolox a um tubo *ependorf* com 990,0 mL da solução do radical ABTS⁺. Aguardou-se 30 min antes da leitura, utilizando. O álcool etílico foi usado como branco para calibrar o espectrofotômetro. Foram plotadas as concentrações de trolox (µM) no eixo X e as respectivas percentagens de inibição (equação 17) no eixo Y obtendo-se a equação da reta (equação 18).

Equação 17.
$$\% \text{ inibição} = \left(\frac{\text{Abs}_{\text{ABTS}^+} - \text{Abs}_{\text{amostra}}}{\text{Abs}_{\text{ABTS}^+}} \right) \times 100$$

Onde: Abs_{ABTS⁺} é a absorbância do ABTS⁺, Abs_{amostra} é absorbância da amostra depois da reação.

Equação 18.
$$Y = a + bX$$

Onde: “Y” é a percentagem de inibição; “a” é termo independente ou o valor de percentagem de inibição quando a concentração de trolox é zero; “b” é a pendente da curva e “X” é a concentração de trolox.

A continuação, em ambiente escuro e a partir do extrato obtido anteriormente, preparou-se três diluições diferentes, em triplicata para cada amostra. Transferiu-se uma alíquota de 10 µL de cada diluição para tubo *ependorf* com 990 µL do radical ABTS⁺ e homogeneizou em vórtex. Logo depois de 30 min foi feita a leitura a 734 nm em espectrofotômetro UV-1800 (Shimadzu Corporation, Kyoto, Japão). Foi utilizado o álcool etílico como branco. A partir das absorbâncias obtidas das diferentes diluições dos extratos, foram plotadas as percentagens de inibição no eixo Y e calculou-se X em µM equivalente de trolox por mL, para calcular o TEAC.

3.3.7.3 Quantificação de compostos fenólicos totais

Para a quantificação dos compostos fenólicos totais (CPT) foi usado o mesmo extrato que foi usado para as análises de DPPH⁺ e ABTS⁺ e foi feito através do método proposto por Singleton e Rossi (1965) e modificado por Georgé et al. (2005), utilizando o reagente Folin-Ciocalteu (**Figura 18**). A absorbância foi medida a 760 nm. A quantificação dos compostos fenólicos totais foi realizada através de uma curva de calibração de ácido gálico, sendo os valores expressos em mg equivalentes de ácido gálico.100 g⁻¹ (mg AG/100g) de amostra. As leituras da absorbância foram realizadas em espectrofotômetro UV-1800 (Shimadzu Corporation, Kyoto, Japão). Para a curva de calibração foram usadas as concentrações de: 1; 0,5; 0,25; 0,125; 0,0625 e 0,03125 mg/mL. Em seguida foram agregados: 1580 µL de água, 20 µL de amostra ou padrão de ácido gálico, 100 µL de folin-ciocalteu. Deixou-se por um tempo de 2 min e por último adicionou-se 300 µL de carbonato de cálcio a 7,5 % e foi deixado em repouso por 15 min a 50 °C para efetuar a leitura no espectrofotômetro.

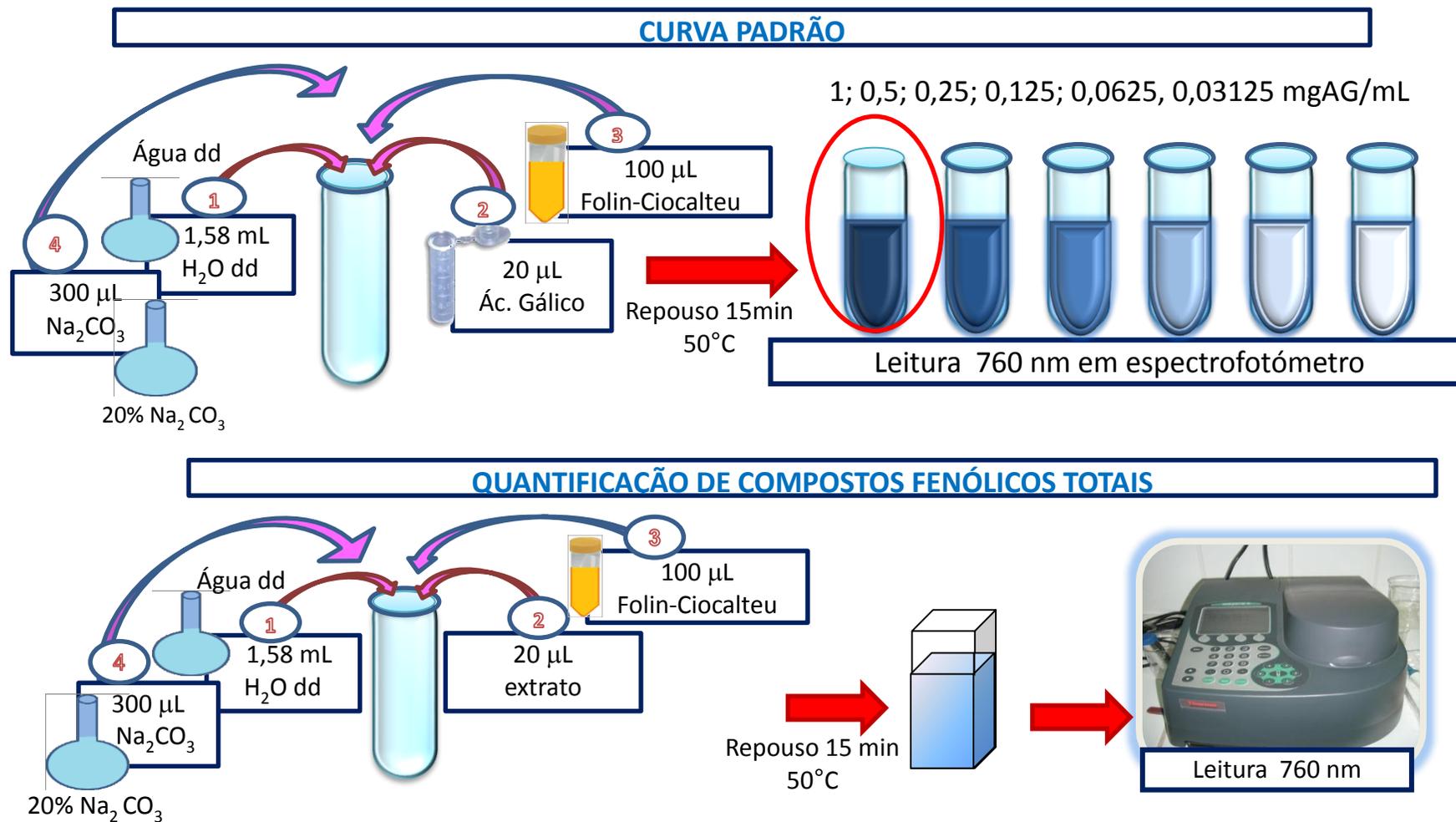


Figura 18. Rota para análises do conteúdo de compostos fenólicos totais usando o reagente folin-ciocalteu.

3.3.7.4 Avaliação dos compostos fenólicos por CLAE

Para as curvas analíticas foram utilizados nove padrões de ácidos fenólicos (Sigma Aldrich®): gálico, vanílico, clorogénico, caféico, siríngico, p-cumárico, ferúlico, sinápico e o-cumárico. Foram preparadas individualmente soluções estoques dos padrões de 2 mg/mL em metanol. Na **Figura 19**, estão apresentadas as estruturas dos nove padrões utilizados. As soluções de calibração foram feitas com misturas dos padrões.

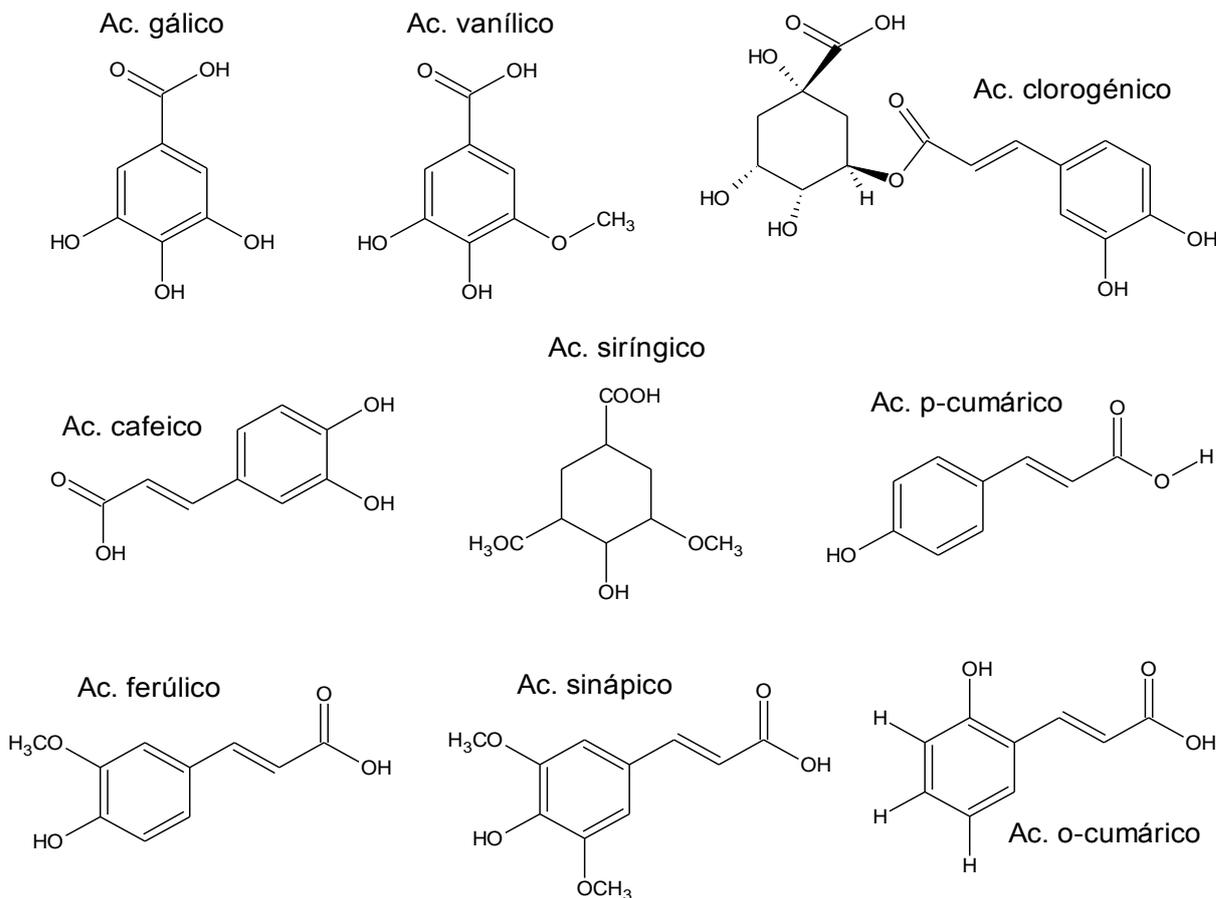


Figura 19. Estrutura química dos padrões dos nove ácidos fenólicos que foram estudados no presente trabalho.

A avaliação dos compostos fenólicos por CLAE (**Figura 20**) foi realizada segundo o método descrito por Mattila e Kumpulainen (2002). O processo de extração foi:

a) Fenólicos livres: 1 g de amostra foi pesada e adicionou-se 10 mL da mistura Metanol (contendo 2,(3)-tert-butyl-4-hidroxyanisol ou BHT 2 g/L)/Ác. Acético 10 % (85:15). Agitou-se vigorosamente (vórtex) e levou-se ao ultrassom por 30 min. A solução foi decantada e uma alíquota de 100 µL foi transferida para o redutor de volume. Utilizou-se o CLAE para a determinação dos ácidos fenólicos livres.

b) Fenólicos da extração básica: À solução restante dos fenólicos livres foram adicionados 17 mL de NaOH 3M. Manteve-se em frasco fechado sob agitação mecânica por 16 h. Ajustou-se o pH para 2,0 com HCl 6M. Decantou-se e transferiu-se o sobrenadante para um funil de separação, o decantado sólido foi reservado no frasco original para uso na determinação da extração ácida.

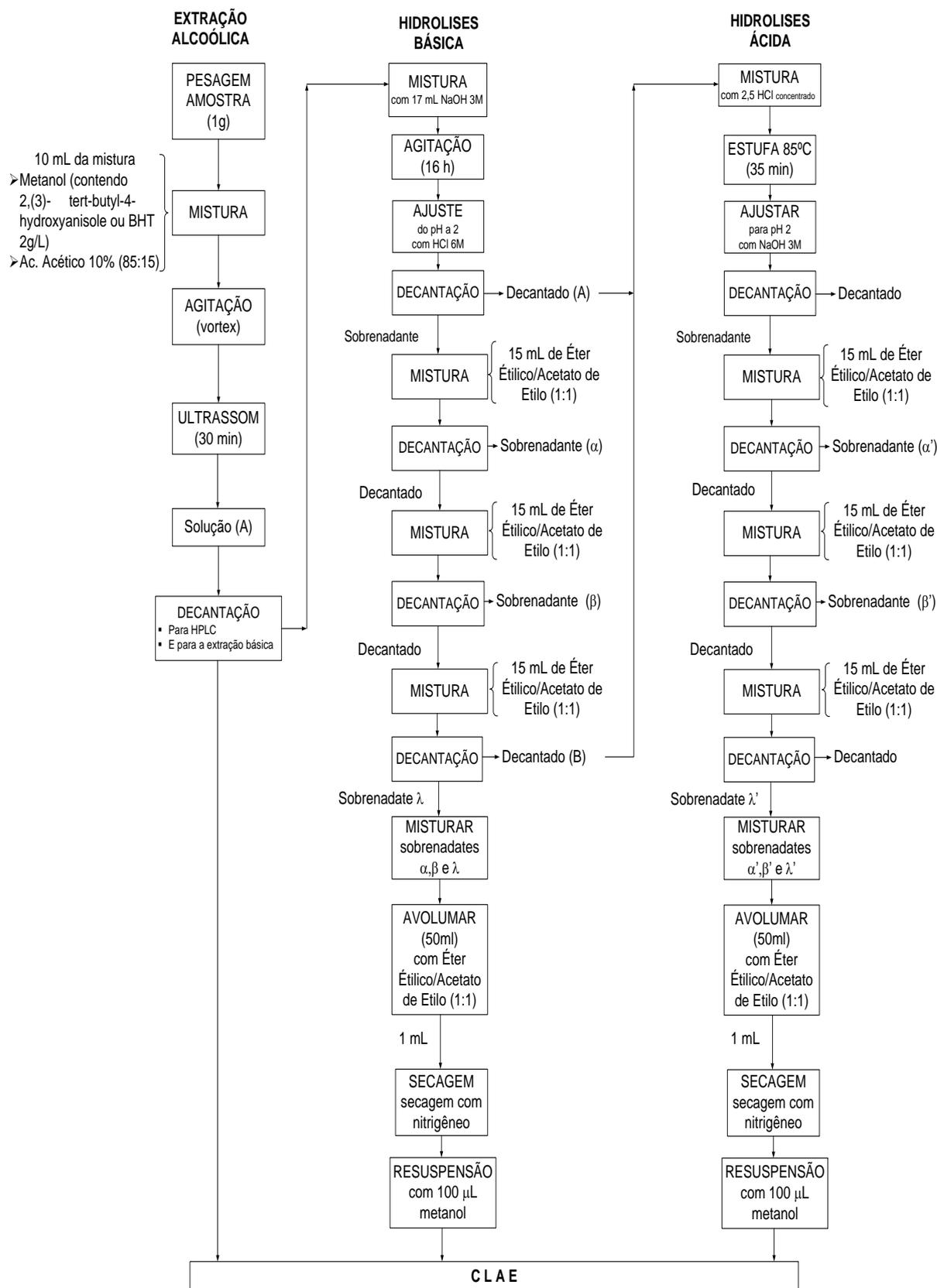


Figura 20. Fluxograma do processo de extração para obtenção dos ácidos fenólicos livres (ácidos fenólicos da extração alcoólica) e os ácidos fenólicos ligados (soma dos ácidos fenólicos da hidrólise básica e ácida).

Com o sobrenadante foi feita a extração líquido-líquido 3 vezes com 15 mL de Éter-Étilico/Acetato de Etilo (1:1). Misturou-se as fases etéreas (superior) das 3 extrações em balão volumétrico de 50 mL e avolumou-se com a mistura Éter Étilico/acetato de Etilo (1:1). Em seguida uma alíquota de 1 mL foi seca em vial sob fluxo de N₂. Dissolveu o resíduo seco com 100 µL de metanol e a amostra submetida a análise cromatográfica dos ácidos fenólicos da hidrólise básica.

c) Fenólicos da extração ácida: Em seguida retornou-se à fase aquosa da extração líquido-líquido da extração básica ao frasco original contendo o resíduo sólido reservado previamente e adicionou-se 2,5 mL de HCl concentrado, o frasco foi fechado e levado a estufa á 85 °C durante 35 min. A continuação aguardou-se o resfriamento até temperatura ambiente e então transferiu-se o conteúdo para bécquer de 100 mL e ajustou-se o pH para 2,0 com NaOH 3M (aproximadamente 5 mL). Procedeu-se a uma nova extração, líquido-líquido como descrito na extração básica seguida da evaporação e análise cromatográfica para obterem-se os ácidos fenólicos da hidrólises ácida.

Configurações do sistema CLAE: O método cromatográfico descrito por Mattila e Kumpulainen (2002) foi adaptado para o uso da coluna Thermo® (BDS Hypersil C18; 4,6 x 100 mm; 2,4 µm), com eluição gradiente de solução A (água acidificada com 1,5 mL/L de ácido fosfórico a 50 mM) e solução B (acetonitrila) como segue: 95%A / 5%B, 0-12 min, fluxo de 1,0 mL/min; 88%A / 12%B, 12-18 min, 1,2 mL/min; 80%A / 20%B, 18-20 min, 1,2 mL/min; 50%A / 50%B, 20-25 min, 1,2 mL/min; . 95%A / 5%B, 25-28 min, 1,0 mL/min. A coluna cromatográfica foi mantida a 30 °C e o volume de injeção foi de 10 µL. A detecção foi com detector de arranjo de diodos (2996, Waters®), com varredura entre 210 e 400nm.

3.4 Delineamento Experimental

Um delineamento inteiramente ao acaso com arranjo fatorial de 2x3x2 foi usado para avaliar o efeito das variáveis respostas, o Modelo Aditivo linear foi:

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \delta_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\delta)_{ik} + (\beta\delta)_{jk} + (\alpha\beta\delta)_{ijk} + \xi_{ijkl}$$

Onde:

I = 1,2 níveis do fator variedade de sorgo: 2012038 e 9929026

j = 1,2, 3 níveis do fator percentagem de café na mistura com sorgo de 0, 10, 15 e 20 %

k = 1,2 níveis do fator umidade da mistura para a extrusão que foram de 16 e 20 %

i = 1,2 e 3 repetições.

µ = Média geral.

α_i = Efeito do j-ésimo nível da cultivar de sorgo.

β_j = Efeito do j-ésimo nível de percentagem de café na mistura de sorgo.

δ_k = Efeito da k-ésimo nível de umidade

$(\alpha\beta)_{ij}$ = Efeito da interação da i-ésima cultivar de sorgo com o j-ésimo percentagem de café na mistura.

$(\alpha\delta)_{ik}$ = Efeito da interação do i-ésima cultivar de sorgo com a k-ésima umidade.

$(\beta\delta)_{jk}$ = Efeito da interação do j-ésimo percentagem de café na mistura com a k-ésima umidade.

$(\alpha\beta\delta)_{ijk}$ = Efeito da interação do i-ésimo nível do fator A com o i-ésimo nível do fator B do k-ésimo nível do fator C.

ξ_{ijkl} = Variação do erro associado a ijkl - ésima unidade experimental.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização da matéria prima

4.1.1 Composição centesimal

Os resultados da composição química aproximada das duas variedades de sorgo e do café moído usados neste trabalho são apresentados na Tabela 4. Observa-se que o café tem maior conteúdo de: cinza, proteína, extrato etéreo e fibra alimentar do que as cultivares de sorgo. Destaca-se no caso do pó de café um alto teor de proteína (cerca de 15 %); a mesma forma a fibra alimentar (cerca de 50 %). O teor de lipídeos encontrado no café mostra que apesar do estado de torrefação indica a possível presença dos óleos essenciais que aportam o sabor e aroma típico do café. O conteúdo de fibra alimentar das cultivares de sorgo foram de 13,56 e 9,92 g. 100 g⁻¹ para as cultivares A e B respectivamente, estes resultados são parecidos aos apresentados por Vargas-Solórzano (2014), com valores de 8,52-12,86 g.100 g⁻¹ para as diferentes cultivares de sorgo, e por Khan et al.(2013) com valores de 9,00 g.100 g⁻¹ para sorgo vermelho.

Tabela 4. Composição química aproximada do pó de café e das duas cultivares de sorgo.

Componente	Pó de Café	Sorgo A	Sorgo B
Umidade	4,27 ± 0,04 ^a	11,96 ± 0,03 ^b	12,29 ± 0,04 ^c
Cinzas	5,48 ± 0,03 ^a	1,67 ± 0,04 ^b	1,72 ± 0,03 ^b
Proteína	14,43 ± 0,08 ^a	9,92 ± 0,04 ^b	10,12 ± 0,16 ^b
Extrato etéreo	10,24 ± 0,02 ^a	2,94 ± 0,06 ^b	3,25 ± 0,16 ^c
Carboidratos*	17,10 ± 0,17 ^a	59,96 ± 0,01 ^b	62,7 ± 0,29 ^c
Fibra Alimentar ^α	48,52	13,56	9,92
Valor calórico ^{α, **}	218,07	305,94	320,53

Média ± desvio padrão de medições em duplicata, expresso em g/100 g⁻¹. As médias com letras diferentes, dentro da mesma linha, indicam diferença significativa (P<0.05), * Determinado por diferença, ** (kcal/g), ^α análises que foram realizadas sem repetições.

Os tratamentos com menor conteúdo de café, que é 10 % de pó de café (48,52 % de fibra) e 90 % de sorgo (9,92 % de fibra), totalizaram cerca de 14 % (cálculo teórico) de fibra alimentar no extrudado. De acordo com a Food and Drug Administration Nutrition Labeling Guidelines, para que um alimento seja considerado “uma boa fonte de fibra”, tem que ter entre 10-19 % da ingestão de referência sendo igual a 2,5-4,75 g por porção (JIN, HSIEH e HUFF, 1994).

A ingestão diária recomendada (IDR) para fibra alimentar é de 25 g, considerando uma dieta de 2000 kcal (ANVISA, 2003). Quanto ao teor de fibra, de acordo com a ANVISA, para um alimento ser considerado como fonte de fibra alimentar deve conter no mínimo 3 g de fibra por 100 g de produto ou 1,5 g por 100 mL, enquanto que para ter alegação de alto teor de fibra alimentar, o alimento deve conter pelo menos 6 g de fibra / 100 g ou 3 g / 100 mL (BRASIL, 2003).

Um aumento do conteúdo de fibra alimentar na dieta está relacionado com um aumento na saciedade e redução da quantidade de energia consumida (WANDERS et al., 2014). Fibra alimentar é o material proveniente das plantas que resistem à digestão por parte de enzimas do trato intestinal do homem, os compostos da fibra alimentar são polissacarídeos (não sendo amidos) que são constituídos por vários polissacarídeos estruturais incluindo a celulose, hemicelulose, e inclui amidos resistentes e pectinas (BLACKWOOD et al., 2000).

Um aumento no consumo de fibra na dieta tem benefícios na nutrição e na saúde. O câncer de cólon, diabetes, hipercolesterolemia, arteriosclerose, hipertensão, obesidade, e cálculos biliares, estão relacionados com a ingestão inadequada de fibras (GORDON, 1989). Considerando as necessidades de fibra alimentar, os produtos desenvolvidos neste trabalho seriam altamente recomendados para seu consumo.

4.1.2 Composição em minerais

Deficiências em micronutrientes é o maior problema de saúde pública em muitos países em desenvolvimento, especialmente em crianças e mulheres grávidas (BATRA e SETH, 2002). Segundo Deosthale e Belavady (1978) a natureza e a composição do solo estão envolvidas nas diferenças observadas na presença de elementos minerais das cultivares de sorgo.

Na **Tabela 5** estão os resultados do perfil de minerais do café e os dos cultivares de sorgo em estudo, incluindo o consumo diário recomendado apresentado por Gupta e Gupta (2014). Os seres humanos requerem de minerais na sua dieta, pois estes desempenham importante função na manutenção da saúde. Minerais são fundamentalmente metais ou outros compostos inorgânicos. Assim como a água, carboidratos, proteínas, gorduras, vitaminas e enzimas os nutrientes minerais também são essenciais para a vida, usualmente necessários em quantidades pequenas presentes em todos os tecidos e fluidos do corpo. Sua presença é necessária para manter certos processos bioquímicos (SOETAN, OLAIYA e OYEWOLE, 2010). Gupta e Gupta (2014), comentaram que os minerais são mais importantes do que as vitaminas, visto que a falta de vitaminas no corpo pode-se substituir com alguns minerais, mas a falta de minerais deixa as vitaminas sem utilidade.

Observa-se na **Tabela 5**, que os minerais Na, Co, Cr, Mo e Pb não apresentaram quantidades detectáveis para as três matérias primas. Também pode-se verificar que o conteúdo dos minerais no café foi estatisticamente diferente ($p < 0,05$) se comparado com as duas cultivares de sorgo. O café tem conteúdos mais elevados para quase todos os minerais analisados, exceto para P e Zn. Os resultados do conteúdo de minerais para os cultivares de sorgo apresentados neste trabalho são próximos aos reportados por Vargas-Solórzano (2013).

Para o K no pó de café apresentou uma quantidade ($2030,72 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$) muito maior do que os cultivares de sorgo ($363,18$ e $338,22 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ para os cultivares A e B respectivamente). O K é o principal cátion nos fluidos intracelulares e tem influência no balanço ácido-base, na regulação da pressão osmótica, na condução de impulsos nervosos, na contração muscular particularmente do músculo cardíaco e também ajuda no traslado do ATP para a produção do ácido pirúvico, entre outros. (SOETAN, OLAIYA e OYEWOLE, 2010; GUPTA e GUPTA, 2014).

Os cultivares A e B contém aproximadamente 47 e 43 % respectivamente de Mg do consumo diário recomendado, e o café contém 56 %. O Mg é o quarto mineral mais abundante no corpo humano e aproximadamente 50 % dele encontra-se nos ossos e a outra metade nas células e 1 % encontra-se no sangue. O Mg tem literalmente centos de funções no corpo humano e algumas destas funções estão relacionadas com a contração e o relaxamento muscular (SOETAN, OLAIYA e OYEWOLE, 2010; GUPTA e GUPTA, 2014).

O conteúdo de Ca foi estatisticamente igual para os dois cultivares do sorgo e que o aporte em cálcio é baixo quando comparado com o consumo diário recomendado. O Ca faz parte dos ossos e dentes, intervém na coagulação do sangue e em grande número de reações enzimáticas. Necessário na permeabilidade da membrana celular, na contração muscular e na normal transmissão dos impulsos nervosos (SOETAN, OLAIYA e OYEWOLE, 2010).

Tabela 5. Perfil de minerais de pó de café e das duas variedades de sorgo (A) e (B).

Nutriente mineral	CDR (*)	Pó de Café	% CDR café	Sorgo A	% CDR Sorgo A	Sorgo B	% CDR Sorgo B
K	3500 mg	2030,72 ± 21,28 ^a	58,0	363,18 ± 2,54 ^b	10,4	338,22 ± 1,87 ^b	9,7
Mg	350 mg	197,71 ± 1,04 ^a	56,5	165,96 ± 3,78 ^b	47,4	151,24 ± 1,85 ^c	43,2
Ca	1000 mg	26,05 ± 0,60 ^a	2,6	11,52 ± 0,50 ^b	1,2	12,41 ± 0,37 ^b	1,2
P	1000 mg	182,35 ± 0,50 ^a	18,2	384,55 ± 6,99 ^b	38,5	374,25 ± 3,85 ^b	37,4
Mn	5 mg	2,07 ± 0,04 ^a	41,4	1,36 ± 0,03 ^b	27,2	1,35 ± 0,09 ^b	27,0
Fe	15 mg	5,30 ± 0,07 ^a	35,3	2,23 ± 0,07 ^c	14,9	4,02 ± 0,01 ^b	26,8
Zn	15 mg	0,49 ± 0,01 ^a	3,3	2,07 ± 0,07 ^b	13,8	2,53 ± 0,02 ^c	16,9
Cu	2 mg	1,43 ± 0,02 ^a	71,5	0,24 ± 0,08 ^b	12,0	0,34 ± 0,03 ^c	17,0
Se	35 µg	0,75 ± 0,09 ^a	2,1	0,43 ± 0,06 ^b	1,2	0,31 ± 0,03 ^b	0,9
Al		3,56 ± 0,09 ^a		NQ		0,23 ± 0,02 ^b	
Na	2400 mg	ND		ND		ND	
Co		ND		ND		ND	
Cr	120 µg	ND		ND		ND	
Mo	75 µg	ND		ND		ND	
Pb		ND		ND		ND	

Média ± desvio padrão de medições em duplicata, expresso em mg/100 g⁻¹. As médias com letras diferentes, dentro da mesma linha, indicam diferença estatística (P<0.05); (A) cultivar 9929026; (B) cultivar 2012038; CDR: Consumo Diário Recomendado, NQ: não quantificado; ND: não detectado. * Gupta e Gupta (2014).

O sorgo apresentou um importante conteúdo de P para as duas cultivares, com valores de cerca de 38% do consumo diário recomendado. O P está presente em cada célula do corpo e é vitalmente importante em muitos processos metabólicos incluindo aqueles envolvidos como tamponantes líquidos. Também é constituinte dos ossos, dentes, do ATP. Praticamente todo o intercâmbio de energia dentro das células dos corpos vivos envolvem a formação ou o rompimento de ligações com o P (SOETAN, OLAIYA e OYEWOLE, 2010).

O conteúdo de Mn foi estatisticamente igual para as duas cultivares de sorgo, aportando aproximadamente 27 % do consumo diário recomendado. O pó de café apresentou um teor maior do que o sorgo alcançando cerca de 41 %. O Mn é um oligoelemento e é achado em todos os tecidos sendo requerido, para um metabolismo normal de aminoácidos, gorduras, proteínas e carboidratos. Têm papel importante para o desenvolvimento dos ossos, cartilagens, cicatrização de feridas e diversos sistemas enzimáticos (GUPTA e GUPTA, 2014).

Houve diferença significativa ($p < 0,05$) no seu conteúdo em Fe para as 3 amostras. Esse mineral participa na produção de hemoglobina e mioglobina, na oxigenação das células vermelhas do sangue e é essencial para muitas enzimas e fundamental para o crescimento (GUPTA e GUPTA, 2014). Tem função no transporte de oxigênio para a respiração; é necessário como cofator para enzimas envolvidas nos sistemas de neurotransmissão, na correta mielinização da medula espinhal e na massa encefálica (SOETAN, OLAIYA e OYEWOLE, 2010).

O conteúdo de Zn para o café foi menor ($0,49 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$), ao se comparar com o sorgo ($2,07$ e $2,53 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ para as cultivares A e B respectivamente). O Zn é um oligoelemento essencial para a cicatrização de feridas, tem um papel muito importante como antioxidante junto com as vitaminas C e E; é necessário para mais de 300 reações enzimáticas e é considerado como fundamental para a divisão celular e na síntese do DNA e proteínas (SOETAN, OLAIYA e OYEWOLE, 2010; GUPTA e GUPTA, 2014). A principal fonte de Zn é encontrada nos fitatos dos cereais e seus derivados: cereais matinais, pães, feijão, vegetais, frutas e amêndoas (GUPTA e GUPTA, 2014).

O conteúdo de Cu no café foi alto ($1,43 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$); cerca de 72% do consumo diário recomendado. Por outro lado, os conteúdos de Cu no sorgo foram de $0,24$ e $0,34 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ para as cultivares de A e B respectivamente. O Cu é constituinte de enzimas tipo citocromo oxidase, amino oxidase, catalase, peroxidase, ácido ascórbico oxidase, plasma monoamina oxidase, etc. (CHANDRA, 1989). O Cu é um micronutriente essencial para os sistemas homológicos e neurológicos (TAN, BURNS e JONES, 2006). É necessário para o crescimento e formação dos ossos, formação de mielina no sistema nervoso, ajuda na incorporação do ferro e na sua transferência nos tecidos do plasma (SOETAN, OLAIYA e OYEWOLE, 2010).

Por outro lado, o consumo diário recomendado para o Se é de $35 \mu\text{g}$, valor amplamente superado pelas matérias primas utilizadas neste trabalho (Tabela 5), não havendo diferença significativa entre as cultivares ($p > 0,05$). O Se é um componente importante das enzimas antioxidantes como glutathione peroxidase e outras que protegem as células frente aos efeitos dos radicais livres (RIAZ e MEHMOOD, 2012). Foi identificado como um agente anticancerígeno com evidência em estudos epidemiológicos e pré-clínicos (modelos animais) e estudos de culturas com células (HU, H MCINTOSH e P YOUNG, 2012). O sorgo da cultivar A não apresentou quantidades detectáveis de Al, enquanto o cultivar B apresentou um conteúdo de $0,23 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ e o pó café de $3,56 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$. Pode-se afirmar então que o sorgo é rico nos minerais P e Mg, e o café por sua parte o café é rico nos minerais K, Mg e Mn, e as misturas destas matérias primas poderia ter um aporte muito importante dos minerais P, K, Mg e Mn.

4.2 Determinação da distribuição granulométrica das farinhas de sorgo

O tamanho de partícula está intimamente ligado ao processamento e tipo de moagem (CARVALHO e ASCHERI, 1999; MATHEW, HOSENEY e FAUBION, 1999), importante no desenvolvimento e estabelecimento de sistemas de extrusão (ONWULATA e KONSTANCE, 2006). A distribuição granulométrica das partículas de farinha integral do sorgo está apresentada na **Figura 21** e **Anexo A**. Pode-se observar que nas peneiras dos extremos inferior e superior, não houve diferença significativa ($p>0,05$) no conteúdo do material retido, porém em todas as outras peneiras houve diferença ($p<0,05$). A percentagem de retenção nas peneiras maiores (2; 1,68; 1,4 e 1,18 mm) foi maior para a cultivar A, apresentando uma percentagem acumulada de retentado até a peneira de 1,18 mm com 63 % (doravante chamado farinha da cultivar A com maior granulometria), e a cultivar B apresentou cerca de 40 % (doravante chamado farinha da cultivar B com menor granulometria), o que implica que a cultivar A apresentou partículas de maior tamanho. Estas diferenças provavelmente estão relacionadas com o maior conteúdo de fibras (**Tabela 4**) do cultivar A que aporta maior resistência ao fracionamento. Segundo Peyron et al. (2002) a condições constantes de moagem a facilidade de separação do endosperma pode estar ligado a composição botânica das diferentes partes do grão.

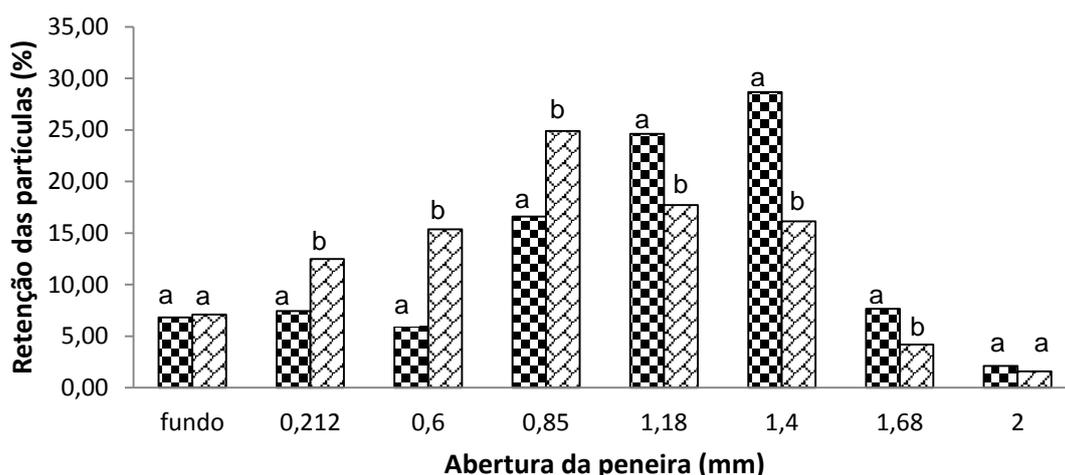


Figura 21. Distribuição do tamanho de partículas de farinha integral de sorgo: (▣) sorgo A; (▤) sorgo B; colunas da mesma abertura de malha com letras de diferentes apresenta diferença significativa ($p<0,05$).

4.3 Estudo das variáveis dependentes de extrusão

4.3.1 Vazão e densidade aparente

Os resultados da análise de variância das variáveis dependentes vazão e densidade aparente são apresentados na **Tabela 6**, onde se pode observar que para a variável resposta vazão, os três fatores: cultivar de sorgo, percentagem de café e umidade influenciaram na variabilidade dos resultados ($p<0,05$), assim como também as interações entre dois fatores. A interação entre os três fatores não foi significativa ($p>0,05$). O efeito dos fatores cultivar, percentagem de pó de café e umidade na vazão são apresentado na **Figura 22** e anexo B. Observa-se que o cultivar B (sorgo com partículas menores) tem maior vazão, para todas as percentagens de café, quanto comparados com seus recíprocos do cultivar A.

Tabela 6. Análises de variância para as variáveis vazão e densidade aparente referente ao processo de extrusão de pó de café e das cultivares de sorgo.

Resposta	Fonte	SQ	GL	QM	Fcal	Valor-P
Vazão	CU	3,0907	1	3,0907	81,65	0,0000
	CA	7,9204	3	2,6401	69,75	0,0000
	UM	18,2894	1	18,2894	483,19	0,0000
	CU*CA	0,8170	3	0,2723	7,20	0,0008
	CU*UM	1,5131	1	1,5131	39,98	0,0000
	CA*UM	3,1029	3	1,0343	27,33	0,0000
	CU*CA*UM	0,2911	3	0,0970	2,56	0,0720
	Resíduo	1,2112	32	0,0379		
Total	36,2359	47				
Densidade Aparente	CU	0,0328	1	0,0328	25,33	0,0000
	CA	0,0341	3	0,0114	8,78	0,0000
	UM	1,4677	1	1,4677	1131,98	0,0000
	CU*CA	0,0608	3	0,0203	15,63	0,0000
	CU*UM	0,1367	1	0,1367	105,46	0,0000
	CA*UM	0,1296	3	0,0432	33,31	0,0000
	CU*CA*UM	0,0742	3	0,0248	19,09	0,0000
	Resíduo	0,3942	304	0,0013		
Total	2,3303	319				

CU: cultivar de sorgo; CA: % pó de café na mistura; UM: % umidade; SQ: soma de quadrados; GL: graus de liberdade; QM : quadrado médio; Fcal: valor do teste F calculado; valor de probabilidade considerando um nível de significância de 5%; para vazão n=3; para densidade aparente n=20.

Segundo estudos realizados sobre a distribuição granulométrica, os autores concluíram que o tamanho de partícula influencia significativamente numa ampla faixa de variáveis do processo de extrusão (ONWULATA e KONSTANCE, 2006; CARVALHO et al., 2010; AL-RABADI et al., 2011b).

Foi observado que a vazão tende a aumentar com o aumento da percentagem de pó de café para ambos as cultivares (**Figura 22**), sendo uma relação direta. Ao acrescentar pó de café na formulação dos extrudados, aumenta-se principalmente o conteúdo de fibra, e conseqüentemente se reduz a viscosidade de pasta (JIN, HSIEH e HUFF, 1994), aumentando-se a vazão.

O aumento da umidade tem uma relação direta com o aumento da vazão Meng et al., (2010) relatou que o aumento da umidade na pasta tem um efeito linear e inverso na pressão de saída do extrusor.

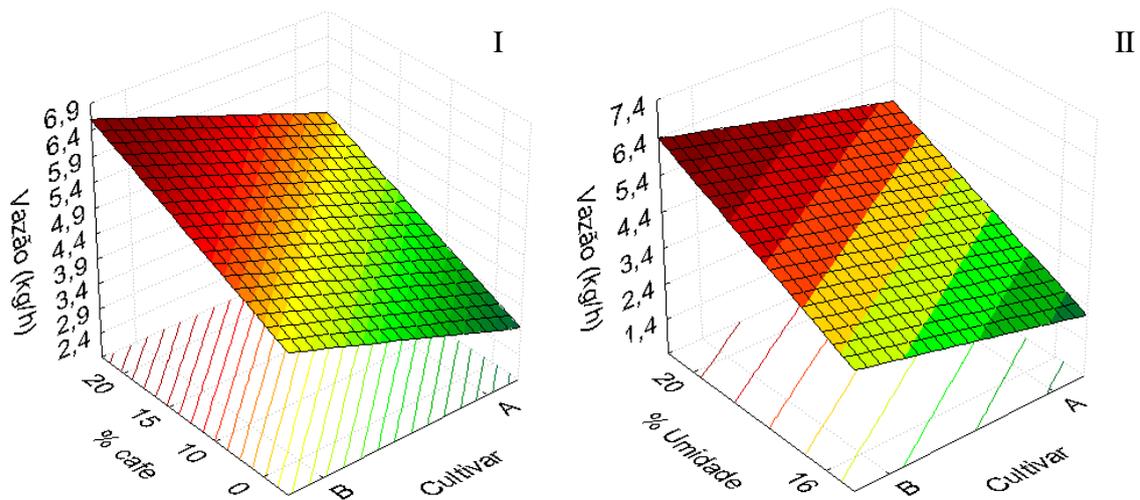


Figura 22. Efeito da cultivar de sorgo A ou B, percentagem de pó de café e percentagem de umidade sobre a vazão dos extrudados.

Para a densidade aparente todos os fatores e as interações tiveram influência na variabilidade dos resultados (**Tabela 6**). A densidade aparente é uma propriedade que considera a expansão em todas as direções (MENG et al., 2010).

Analisando a **Figura 23**, observar-se que a farinha extrudada da cultivar B (partículas menores) têm valores maiores de densidade aparente quanto comparado com a farinha extrudada da cultivar A, concordando com o reportado por Desrumaux, Bouvier e Burri (1998), quem diz que o aumento no tamanho da partícula resulta em extrudados com densidade menor. As partículas maiores tem menor superfície de contato entre elas o que diminui a fricção.

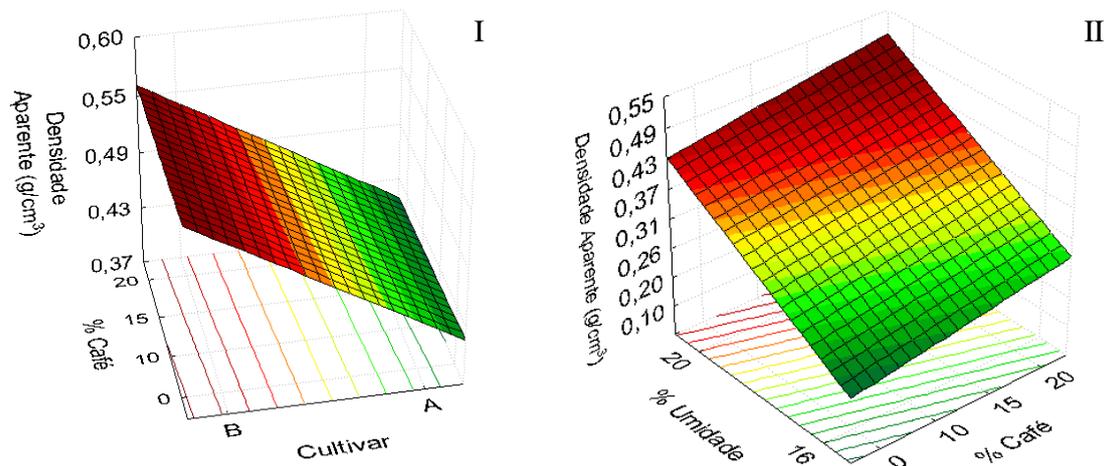


Figura 23. Efeito da cultivar de sorgo A ou B, percentagem de pó de café e percentagem de umidade sobre a densidade aparente dos extrudados.

Um efeito similar acontece com a percentagem de pó de café a densidade aparente aumentou com o aumento na percentagem de pó de café, o que é corroborado por Jin, Hsieh e Huff (1994), que afirmam que um aumento no conteúdo de fibra, resulta em um produto mais denso. Isto é porque as partículas de fibra causam a ruptura das paredes celulares antes que as

bolhas de gás se expandam no seu real potencial (GUY, RCE, 1988).

Na Figura 23 pode-se observar que com o aumento da umidade a densidade aparente também aumenta. O qual coincide com o reportado por Meng et al. (2010), que descreve que o aumento na umidade reduz a viscosidade de pasta e a energia mecânica específica e torna o processo menos drástico resultando em produtos com maior densidade. Os maiores valores de vazão e densidade aparente (Anexo B) foram obtidos nos tratamentos T8 (4,57 kg/min e 0,4118 g/cm³) e N8 (5,60 kg/min e 0,4529 g/cm³) que correspondem aos tratamentos com maiores conteúdos de umidade e maiores percentagens de café.

4.3.2 Índice de expansão

O efeito dos fatores: farinha da cultivar A ou B, percentagem de pó de café e percentagem de umidade sobre o Índice de Expansão Radial (IER), Índice de Expansão Longitudinal (IEL) e Índice de Expansão Volumétrico (IEV) estão apresentados nas **Figuras 24, 26 e 27** respectivamente, e na **Figura 25** pode-se observar as macroestruturas dos extrudados.

A expansão radial é uma das medidas que mostra claramente o efeito das mudanças na conversão do amido como resultado do processo de extrusão. Usualmente os extrudados com alta expansão são o resultado de um alto cisalhamento, combinação de alta pressão e temperatura, alta viscosidade da pasta, e permitem incorporar bolhas de ar na matriz de amido quando sai do extrusor (NASCIMENTO et al., 2012).

Observa-se na **Figura 24** e o **anexo C**, que os três fatores influenciaram o IER ($p < 0,05$). A farinha da cultivar A (sorgo com partículas maiores) teve maior IER (**Tabela 7**) em todos os casos quando comparado com a mesma percentagem de pó de café e umidade da cultivar B. Estes resultados diferem dos resultados apresentados por AL-AL-Rabadi, Torley, Williams et al. (2011b), os quais mostraram que o tamanho da partícula da farinha de sorgo não influencia o IER. Mas estão de acordo com os dados apresentados por Carvalho, Takeiti, Onwulata et al. (2010), que mostraram que os extrudados produzidos com maior tamanho de partícula tiveram maior expansão.

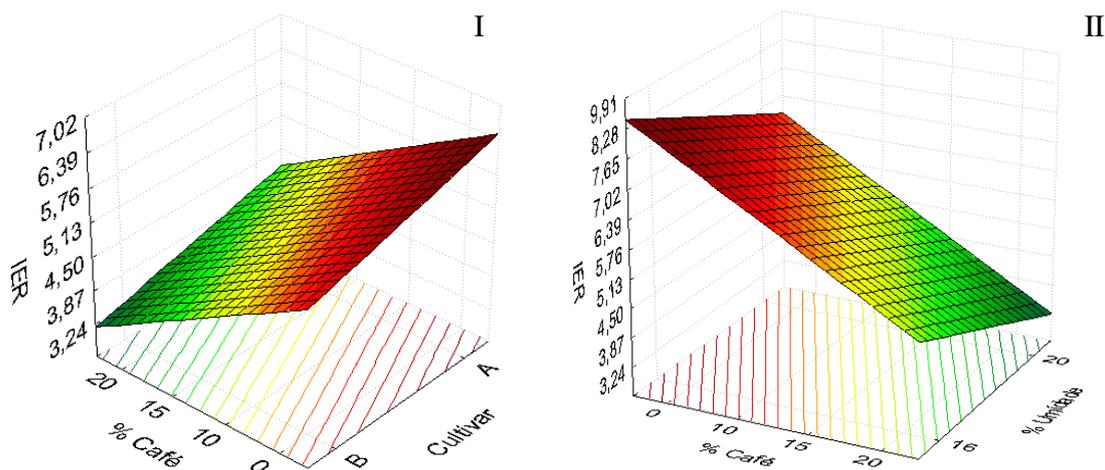


Figura 24. Efeito da cultivar de sorgo A ou B, percentagem de pó de café e percentagem de umidade sobre o Índice de Expansão Radial (IER).

Tabela 7. Índices de expansão dos extrudados em função dos fatores farinha da cultivar A ou B, percentagem de pó de café e percentagem de umidade.

Tratamento	X ₁	X ₂	X ₃	IER	IEL	IEV
T1	A	0	16	7,69 ± 0,08 ^j	1,18 ± 0,01 ^{bc}	9,11 ± 0,15 ^{kl}
T2	A	0	20	5,58 ± 0,08 ^{gh}	1,10 ± 0,01 ^b	6,11 ± 0,11 ^{ef}
T3	A	10	16	5,21 ± 0,06 ^{fg}	1,39 ± 0,02 ^{gh}	7,26 ± 0,15 ^{gh}
T4	A	10	20	4,06 ± 0,10 ^{bc}	1,28 ± 0,01 ^{de}	5,20 ± 0,13 ^{bc}
T5	A	15	16	4,42 ± 0,07 ^{cd}	1,54 ± 0,02 ⁱ	6,80 ± 0,18 ^{fg}
T6	A	15	20	4,40 ± 0,06 ^{cd}	1,37 ± 0,01 ^{efgh}	6,02 ± 0,11 ^{de}
T7	A	20	16	4,91 ± 0,06 ^{ef}	1,96 ± 0,01 ^l	9,63 ± 0,12 ^m
T8	A	20	20	3,73 ± 0,03 ^b	1,45 ± 0,01 ^{hi}	5,40 ± 0,06 ^{cd}
N1	B	0	16	7,24 ± 0,13 ⁱ	1,29 ± 0,03 ^{def}	9,35 ± 0,25 ^{kl}
N2	B	0	20	4,42 ± 0,11 ^{cd}	0,98 ± 0,02 ^a	4,33 ± 0,14 ^a
N3	B	10	16	5,73 ± 0,11 ^h	1,33 ± 0,03 ^{defg}	7,62 ± 0,17 ^{hi}
N4	B	10	20	4,17 ± 0,09 ^c	1,11 ± 0,01 ^b	4,61 ± 0,11 ^{ab}
N5	B	15	16	4,96 ± 0,08 ^{ef}	1,67 ± 0,02 ^j	8,30 ± 0,18 ^{ij}
N6	B	15	20	3,68 ± 0,04 ^{ab}	1,24 ± 0,01 ^{cd}	4,56 ± 0,07 ^{ab}
N7	B	20	16	4,78 ± 0,09 ^{de}	1,84 ± 0,02 ^k	8,77 ± 0,14 ^{jk}
N8	B	20	20	3,30 ± 0,11 ^a	1,39 ± 0,03 ^{fgh}	4,55 ± 0,13 ^{ab}

X₁: Cultivar A ou B; X₂: percentagem de pó de café; X₃: percentagem de umidade; IER: Índice de expansão radial; IEL: Índice de expansão longitudinal; IEV: índice de expansão volumétrico; os dados apresentam a médias ± DP; n=20, letras diferentes numa mesma coluna representam diferença estatística (p<0,05).

Foi observado que à medida que houve aumento na porcentagem de pó de café o IER diminuía. Segundo Jin, Hsieh e Huff (1994), o incremento no conteúdo de fibra causa uma diminuição da expansão radial. Também a presença de fibra provoca a ruptura das paredes celulares e dificulta a formação de bolhas. Outros autores observaram o mesmo comportamento (LUE e HUFF, 1991; BADRIE e MELLOWES, 1992; HASHIMOTO e GROSSMANN, 2003). A variável umidade mostrou efeito inverso com o IER, isto é, quanto menor umidade maior o IER, coincidindo com diferentes autores (ALVAREZ-MARTINEZ, KONDURY e HARPER, 1988; BORBA, SARMENTO e LEONEL, 2005; MENG et al., 2010). Os menores valores de IER corresponderam aos tratamentos com maior porcentagem de pó de café e maior teor de umidade T8 e N8 com 3,73 e 3,30 respectivamente. Para o IER os três fatores (cultivar de sorgo, porcentagem de pó de café na mistura e porcentagem de umidade), também influenciaram a resposta (anexo C). O IEL foi maior para a cultivar A (cultivar com maior tamanho de partícula, **Figura 26**). Pode-se observar que quando a porcentagem de pó de café aumentou o IEL também aumentou concordando com Jin, Hsieh e Huff (1994), onde foi visto que o aumento no conteúdo de fibra resulta em um aumento na expansão longitudinal. Note-se também que o IEL tem uma relação inversa com a umidade.

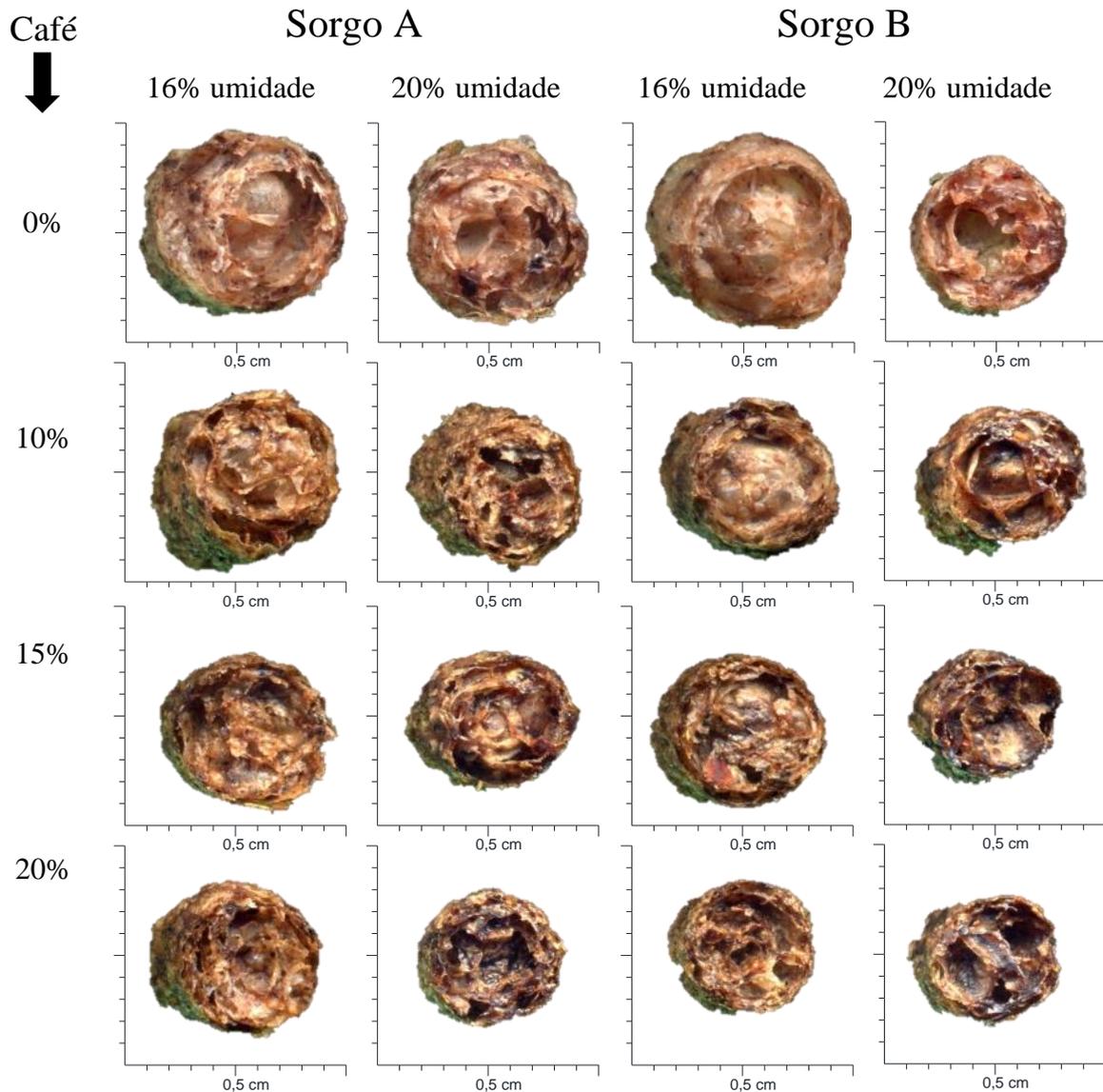


Figura 25. Extrudados escaneados das cultivares de sorgo com pó de café e diferentes umidades (aumentado 3X).

Os valores de IEL para a cultivar A variaram de 1,10-1,96 e para a cultivar B de 0,98-1,84 (Tabela 7). Por outro lado, quando comparamos tratamentos dentro do mesmo cultivar e umidades, variando só a percentagem de pó de café na mistura o IER e IEL tiveram comportamentos opostos, coincidindo com os trabalhos de Carvalho, Takeiti, Onwulata et al.(2010) e Alvarez-Martinez, Kondury e Harper (1988). Altos valores de IEL resultam em baixos valores de IER, pode estar relacionado com as características da matéria prima, parâmetros de processamento, configuração do sistema de extrusão.

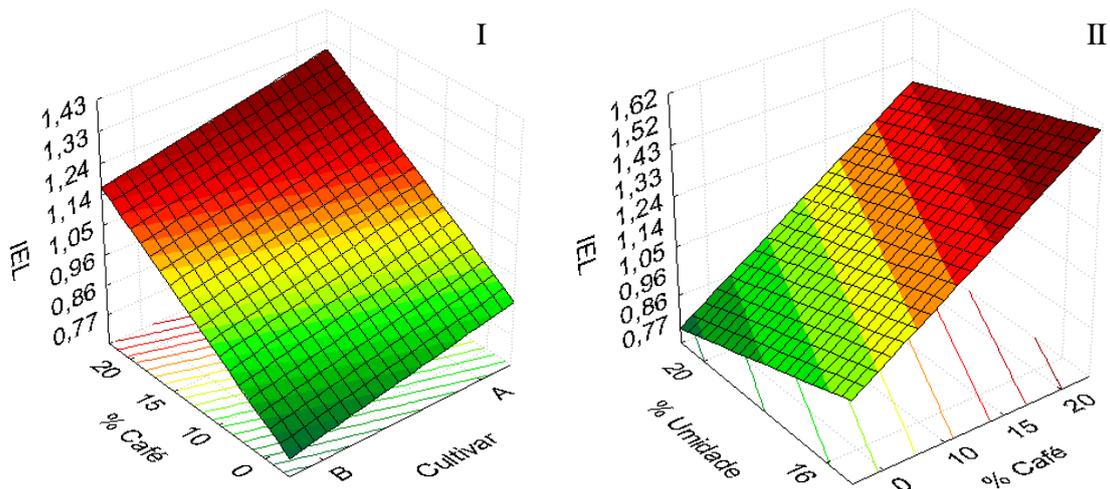


Figura 26. Efeito da cultivar de sorgo A ou B, percentagem de pó de café e percentagem de umidade sobre o Índice de Expansão Longitudinal.

O IEV é o produto dos IER e IEL, e expressa à expansão total dos extrudados. No anexo C pode-se observar que os três fatores influenciaram ($p < 0,05$) a resposta. Na **Figura 27**, observa-se que o IEV foi maior para a cultivar A (maior tamanho de partícula), e que diminuiu quando a percentagem de pó de café aumentou. O mesmo fenômeno aconteceu com a umidade, mostrando mais uma vez que a fibra prejudica a expansão e a umidade reduz a taxa de cisalhamento do processo resultando no mesmo efeito. Na Tabela 7 pode-se observar os valores obtidos para o IEV, variando de 5,40 a 9,63 para o sorgo A e de 4,33 a 9,35 para o sorgo B.

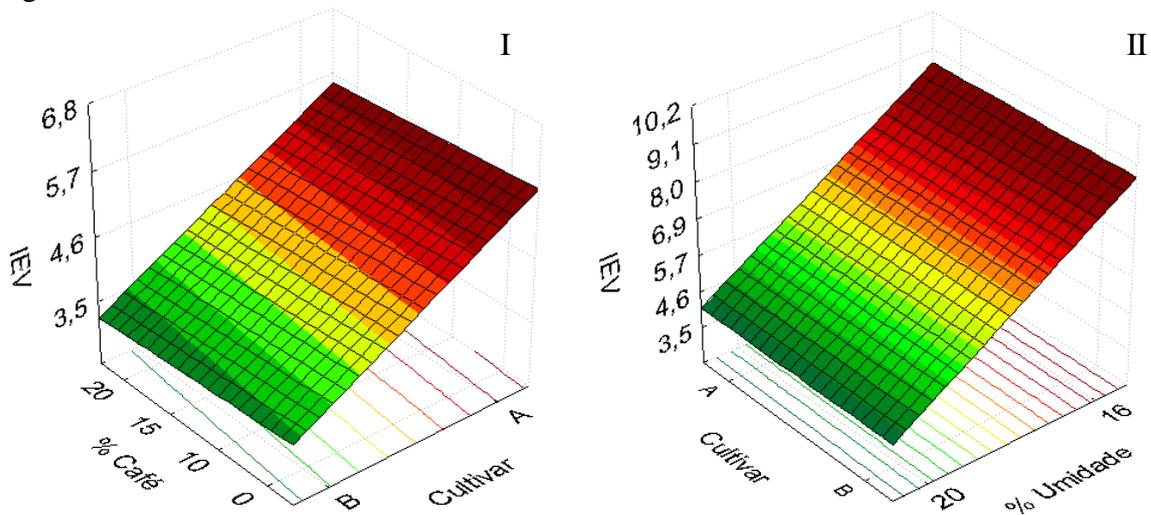


Figura 27. Efeito da cultivar de sorgo A ou B, percentagem de pó de café e percentagem de umidade no Índice de Expansão Volumétrico (IEV).

4.3.3 Índice de solubilidade em água (ISA) e índice de absorção de água (IAA)

O ISA é um parâmetro que mede o grau de degradação total das cadeias do amido. O aumento da solubilidade verificado em produtos extrudados, é atribuído à dispersão das moléculas de amilose e amilopectina como consequência da gelatinização, quando as condições são mais brandas, e à formação de compostos de baixa massa molar, quando as condições são mais drásticas (COLONNA et al., 1984). Além da gelatinização do amido, que resulta na liberação da amilose e amilopectina de seus grânulos, poderá ocorrer também a dextrinização dos componentes do amido e outras reações que conduzem à formação de compostos de baixa massa molar, que irão influir no índice de solubilidade em água (SILVA, 2009). O ISA representa a quantidade de polissacarídeos solúveis liberados dos grânulos de amido em meio aquoso (AL-RABADI et al., 2011b).

O tipo de cultivar de sorgo, a percentagem de pó de café e o teor de umidade, bem como as suas interações influenciaram significativamente ($p < 0,05$) no ISA (**Anexo D e E**). Na **Figura 28** observa-se que os valores de ISA foi menor nos tratamentos com a farinha de sorgo da cultivar B (partículas menores), o qual é oposto ao reportado por Al-Rabadi, Torley, Williams et al. (2011b), que mencionam que a extrusão de sorgo com partículas mais finas resulta em ISA maiores, os mesmos autores explicam que este comportamento pode ser atribuído a que partículas menores, têm maiores superfícies de contato antes da extrusão, resultando em uma maior lixiviação de derivados de amidos solúveis durante as análises de ISA. Por outro lado, podemos considerar em se tratando de partículas muito finas no momento do pré-condicionamento estas têm maior afinidade com a água pelo próprio princípio da difusividade dos líquidos. Os menores valores de ISA que o sorgo da cultivar B teve pode ser explicado por o maior conteúdo de extrato etéreo (**Tabela 4**), o qual influenciou num menor cisalhamento e degradação do amido.

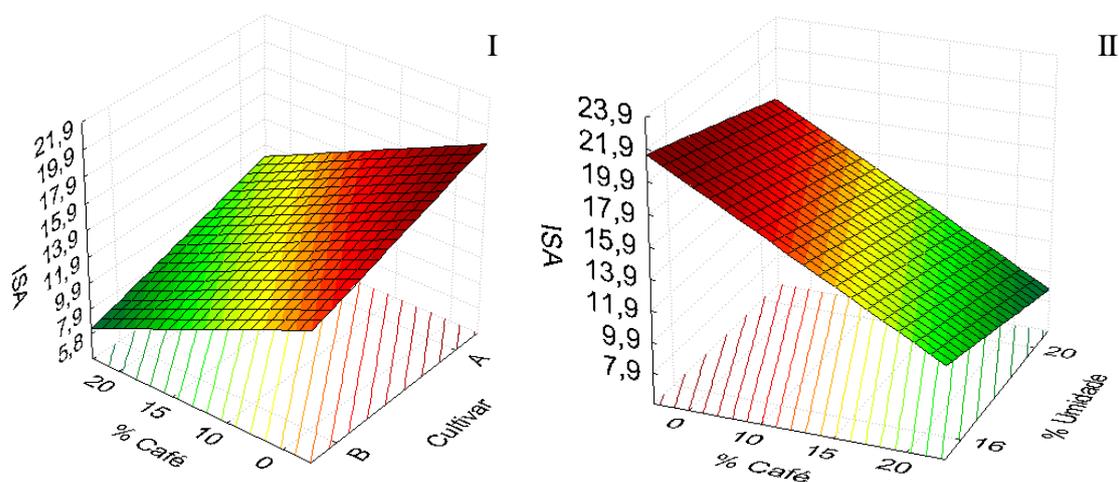


Figura 28. Efeito da cultivar de sorgo A ou B, percentagem de pó de café e percentagem de umidade no Índice de Solubilidade em água (ISA).

Na mesma Figura observa-se que o ISA tem relação inversa com a percentagem de pó de café na mistura com a farinha do sorgo. Quanto maior foi o teor de pó de café, menor foi o valor do ISA. Isto é devido a que com o pó de café incrementa-se o conteúdo de fibra no extrudado. Verifica-se que esta diminuição do ISA relacionando-se com a diminuição do IER. Ambos estão relacionados com o grau de gelatinização. A maior gelatinização maior é o valor do ISA (JIN, HSIEH e HUFF, 1994).

O mesmo comportamento foi observado com a variável umidade: na qual o ISA diminui com o incremento da umidade. Resultados semelhantes foram encontrados por Stojceska, Ainsworth, Plunkett et al. (2009) e Onwulata, Konstance, Smith et al. (2001). Por que o aumento umidade provoca menores graus de gelatinização no material amiláceo (STOJCESKA et al., 2009).

Na **Tabela 8** pode-se observar que os maiores valores de ISA correspondem aos tratamentos extrudados sem pó de café na formulação (19,72 e 21,05 %; para as cultivares A e B respectivamente). Já para formulações contendo pó de café os valores de ISA diminuem drasticamente (10,13 e 8,84 %). Isto pode significar uma diminuição no ISA de até 50 %.

Tabela 8. Índice de solubilidade em água e o índice de absorção de água em função dos fatores: farinha da cultivar A ou B, percentagem de pó de café e percentagem de umidade.

Tratamento	X ₁	X ₂	X ₃	ISA (%)	IAA (g.g gel ⁻¹)
T1	A	0	16	19,72 ± 0,40	4,91 ± 0,04
T2	A	0	20	17,69 ± 0,20	5,17 ± 0,02
T3	A	10	16	14,17 ± 0,12	4,22 ± 0,02
T4	A	10	20	11,42 ± 0,14	4,55 ± 0,01
T5	A	15	16	11,83 ± 0,03	4,03 ± 0,02
T6	A	15	20	10,13 ± 0,21	4,41 ± 0,03
T7	A	20	16	13,23 ± 0,13	4,00 ± 0,01
T8	A	20	20	13,19 ± 0,42	4,30 ± 0,02
N1	B	0	16	21,05 ± 0,34	5,44 ± 0,07
N2	B	0	20	15,37 ± 0,07	5,20 ± 0,02
N3	B	10	16	10,85 ± 0,10	4,26 ± 0,06
N4	B	10	20	7,92 ± 0,03	4,31 ± 0,02
N5	B	15	16	10,16 ± 0,01	4,26 ± 0,04
N6	B	15	20	8,84 ± 0,06	4,25 ± 0,03
N7	B	20	16	11,64 ± 0,13	4,04 ± 0,01
N8	B	20	20	10,57 ± 0,26	4,09 ± 0,01

X₁: Cultivar; X₂: % café; X₃: % umidade; ISA: índice de solubilidade em água; IAA: índice de absorção de água; os dados apresentam a médias ± DP; n=3, letras diferentes numa mesma coluna representam diferença estatística (p<0,05).

O IAA está relacionado à disponibilidade de grupos hidrofílicos (-OH) em se ligar às moléculas de água e à capacidade de formação de gel das moléculas de amido.

No anexo D pode-se observar que a cultivar não influenciou o IAA (p>0,05). Al-Rabadi, Torley, Williams (2011b) reportaram comportamento similar em estudo do efeito do tamanho de partícula da cevada e o sorgo nas propriedades dos extrudados. Também não houve diferença significativa na interação dos três fatores, já a percentagem de pó de café e a umidade tiveram influência (p<0,05) na resposta.

Quando a percentagem de pó de café aumentou o IAA diminuiu (**Figura 29**). Camargo, Leonel e Mischán (2008) observaram que os maiores valores de IAA ocorreram nos tratamentos sem fibras. A fibra tem um menor potencial de inchamento devido à sua composição em componentes como celulose, hemicelulose, pectinas e em alguns casos lignina, que conferem insolubilidade (VARGAS-SOLÓRZANO et al., 2014). A redução do IAA com o aumento da fibra é explicada pelo escasso conteúdo de amido na mistura. Somente os grânulos de amido gelatinizados absorvem água em temperatura ambiente

(COLONNA et al., 1984; CARVALHO, ASCHERI e CAL-VIDAL, 2002; BORBA, SARMENTO e LEONEL, 2005).

Observa-se que quando a umidade aumentou o IAA também aumentou. Isto porque o aumento na umidade resulta em maior grau de gelatinização do amido (STOJCESKA et al., 2009). O amido gelatinizado absorve mais água do que em seu estado natural (LUSTOSA, LEONEL e MISCHAN, 2009).

As propriedades de inchamento são o resultado do aumento das ligações de hidrogênio entre moléculas de água e grupos hidroxilas dos polímeros. No amido, esta propriedade é principalmente o resultado da estrutura molecular da amilopectina, com a amilose atuando como um diluente (SRICHUWONG et al., 2005). Em geral, observa-se que o IAA aumenta quando o ISA diminui, confirmando-se com o reportado por Stojceska, Ainsworth, Plunkett et al. (2009). Para as farinhas que apresentaram menores valores de IAA e maiores valores de ISA, indicam que o amido sofreu conversão extensiva (SRIBURI, HILL e BARCLAY, 1999).

Os resultados de IAA e ISA podem ser utilizados para estimar a conveniência de potenciais usos no preparo de alimentos tais como sopas, bebidas, mingaus, entre outros (LUSTOSA, LEONEL e MISCHAN, 2009).

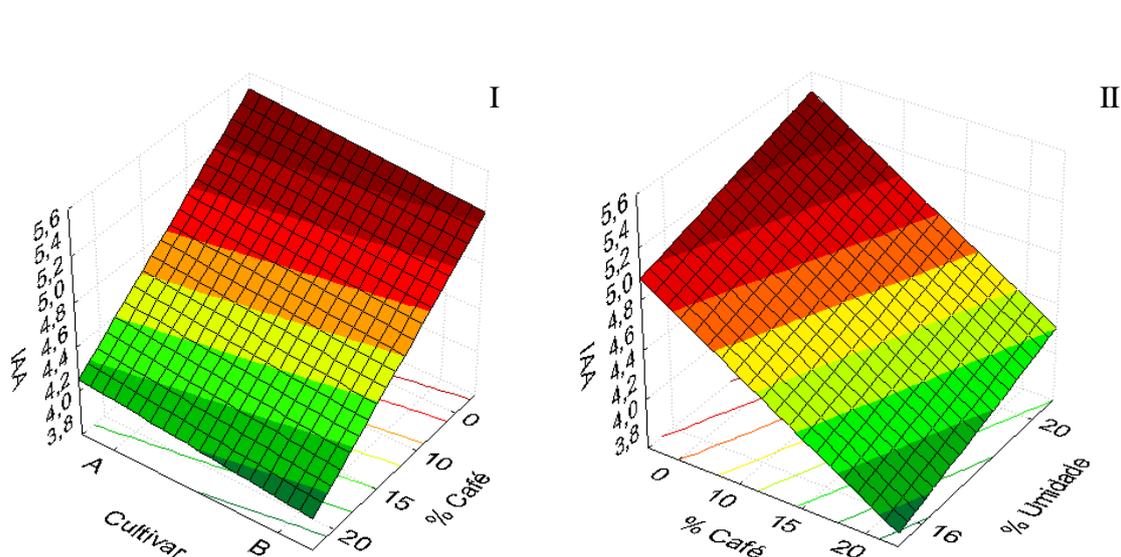


Figura 29. Efeito da cultivar de sorgo A ou B, percentagem de pó de café e percentagem de umidade sobre o Índice de Absorção de água (IAA).

Pode-se considerar que os tratamentos T4 e N4 com IAA de 4,55 e 4,31 g.g de gel⁻¹ respectivamente, seriam os mais indicados para a elaboração de alimentos com maior pastosidade como sopas e mingaus. Com referência a alimentos que poderiam ser indicados para bebidas, os tratamentos mais apropriados são T3 e N7 com 14,17 e 11,64 % de ISA respectivamente. Em cada caso foram escolhidos um tratamento para cada cultivar de sorgo. Quando os tratamentos da mesma cultivar de sorgo, foram estatisticamente iguais a escolha do melhor tratamento foi baseado no valor numérico.

4.3.4 Viscosidade de pasta

Uma das formas de se verificar o grau de cozimento de um material processado por extrusão está relacionado com o uso do analisador rápido de viscosidade (RVA) (AL-RABADI et al., 2011b). Os resultados experimentais da viscosidade inicial a 25 °C, viscosidade máxima a 95 °C, viscosidade mínima a 95 °C e viscosidade final a 25 °C, assim como os valores calculados de quebra de viscosidade (breakdown) e tendência à retrogradação (setback) estão expostos nas Tabelas 9 e 10, e os gráficos destas respostas estão apresentados nos Anexos G e H.

Nas **Figuras 30 e 31** estão os perfis de viscosidade para as duas cultivares. Nota-se, que as duas cultivares descrevem trajetórias semelhantes, mas nos resultado de ANOVA (**Anexo E e F**), pode-se observar que o tipo de cultivar influenciou nas respostas. Os tratamentos contendo 0 % de pó de café, como era de se esperar, tiveram as viscosidades mais altas durante o início do teste (temperatura de 25 °C). À 2 minutos do início do teste já tinham alcançado 386 cP (T2).

Esta viscosidade diminuiu significativamente ($p < 0,05$), à medida em que se aumentou a percentagem de pó de café na formulação. Isto se deve a que os tratamentos que contem pó de café possuem baixos níveis de viscosidade segundo a percentagem de pó de café na formulação. Provavelmente devido ao alto teor de fibra na mistura que atua quebrando as possíveis ligações de hidrogênio (NASCIMENTO et al., 2012).

Alta viscosidade inicial a 25 °C, pode indicar alto grau de cisalhamento durante a extrusão, resultando em uma elevado dano do amido e expondo uma maior quantidade de sítios hidrofílicos a partir das moléculas do amido que foram rompidas, formando uma rede tridimensional à temperatura ambiente (CARVALHO et al., 2010). A gelatinização é a combinação da fusão da porção cristalina do grânulo de amido e da transição vítrea da porção amorfa, como consequência do calor numa suspensão aquosa, e da agitação mecânica empregada. Inicialmente, o intumescimento é reversível, tornando-se irreversível conforme ao aumento da temperatura que rompe as ligações de hidrogênio e permite a incorporação de água pelo amido. Tal incorporação aumenta a separação das cadeias, diminuindo o número e o tamanho das regiões cristalinas e ocasionando a perda da birrefringência (THIRÉ, SIMÃO e ANDRADE, 2003; SILVA, 2009). Como previsto, após os 6 minutos iniciais, verificou-se que não houve incremento nos valores de viscosidade (CARVALHO et al., 2010). Quando a pasta quente é resfriada, o incremento na viscosidade é governado pela tendência à associação das moléculas do amido. Pode-se observar nas **Figuras 30-31** que as amostras tiveram pouco incremento da viscosidade na etapa final do resfriamento. A quantidade de amido parcialmente danificado presente nos materiais é responsável pela consistência da pasta final que é desenvolvida na etapa final do teste de RVA (AL-RABADI et al., 2011b).

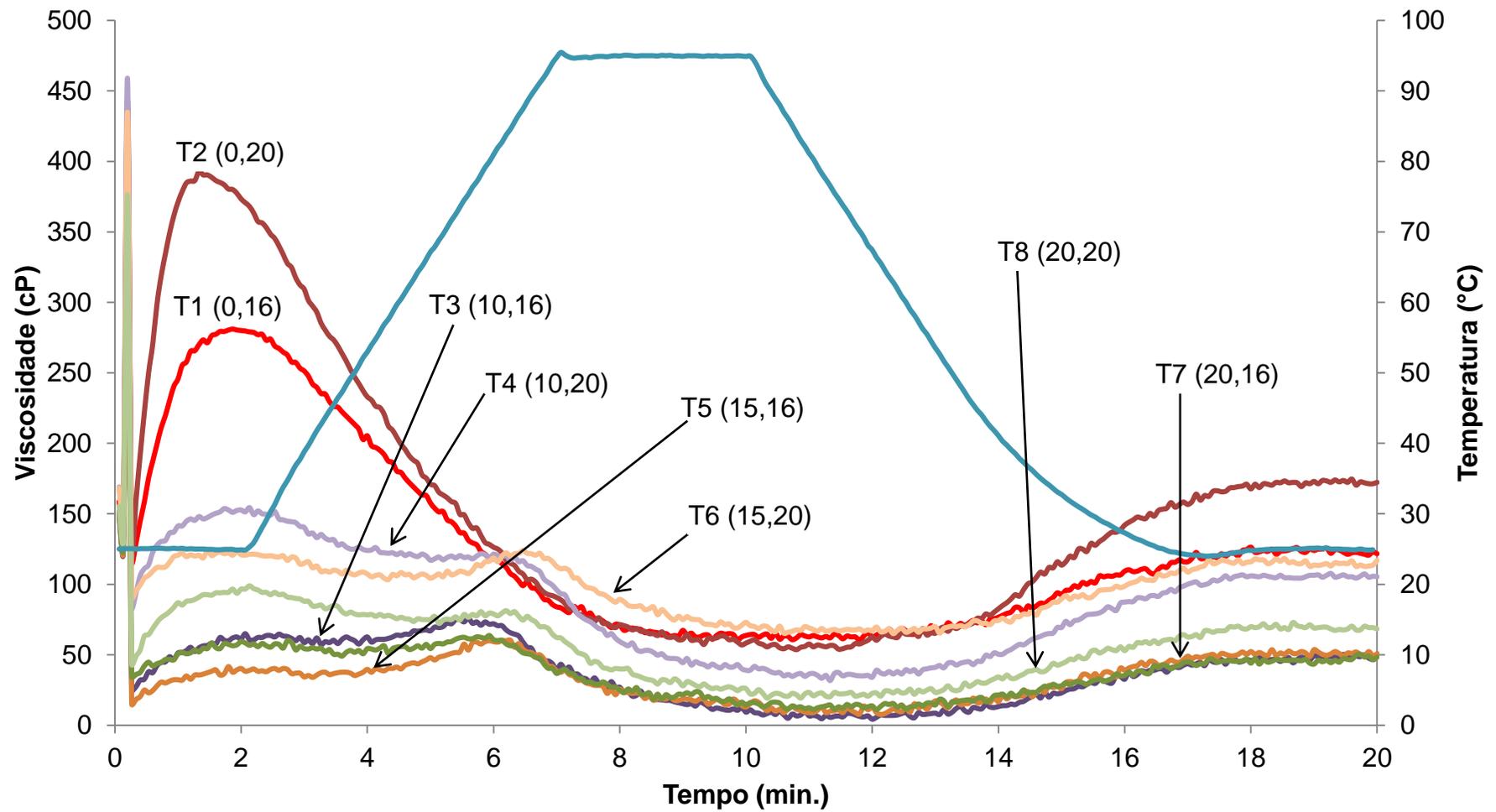


Figura 30. Perfis das curvas de viscosidade de pasta dos extrudados da farinha da cultivar A (%café, %umidade); $T_i(j,K)$ =Tratamento (percentagem de café, umidade).

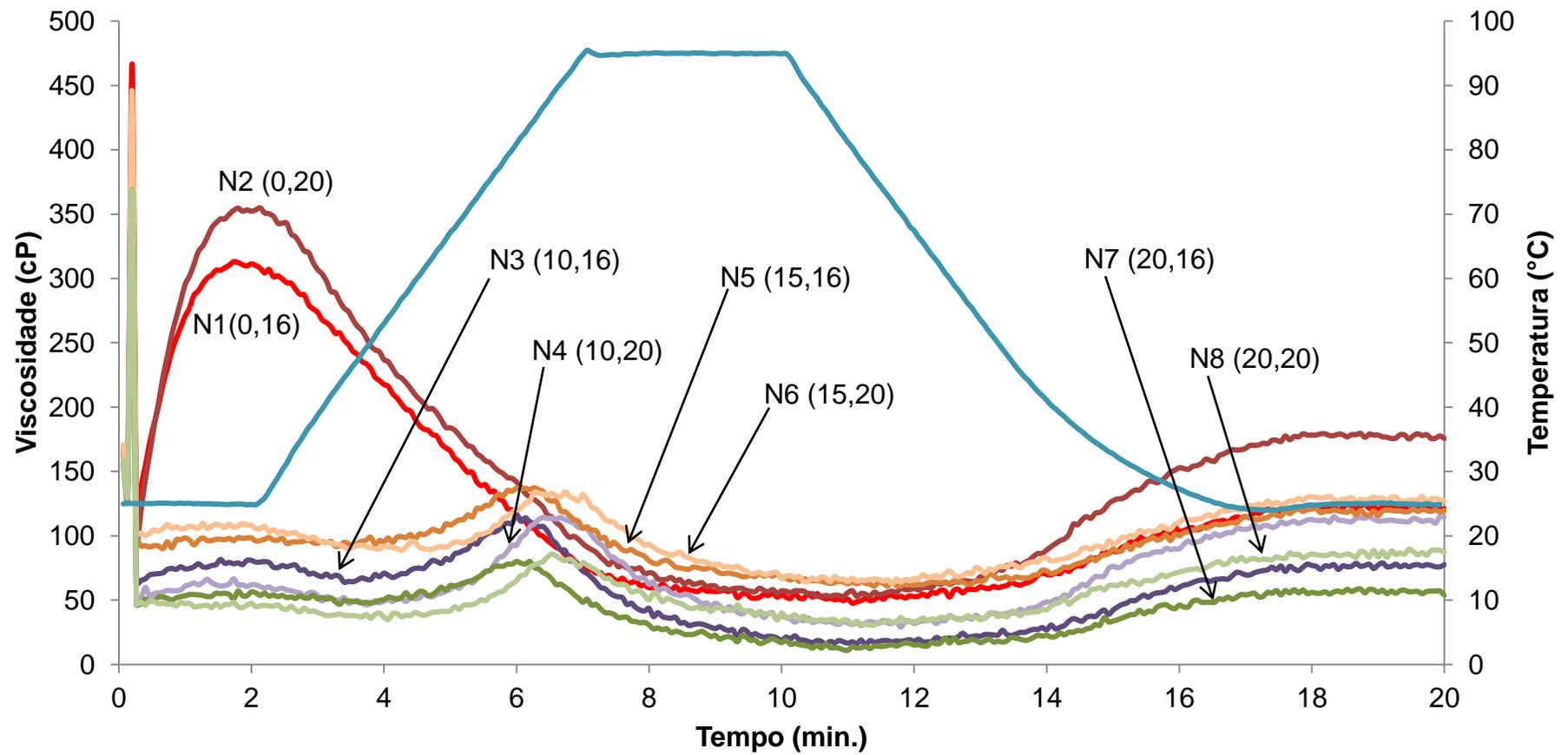


Figura 31. Perfis das curvas de viscosidade de pasta dos extrudados da farinha da cultivar B; Ni(j,K)=Tratamento (percentagem de café, umidade).

Tabela 9. Viscosidade inicial, viscosidade máxima e viscosidade mínima em função dos fatores: farinha da cultivar A ou B, percentagem de pó de café e umidade.

Tratamento	X ₁	X ₂	X ₃	Vini a 25°C		Vmáx a 95°C		Vmín a 95°C	
T1	A	0	16	283,0 ± 13,9	f	88,7 ± 7,0	cde	57,0 ± 5,6	e
T2	A	0	20	393,7 ± 15,7	i	94,3 ± 11,9	cdef	51,7 ± 13,5	e
T3	A	10	16	78,3 ± 4,0	ab	46,7 ± 2,5	a	2,7 ± 1,5	a
T4	A	10	20	156,0 ± 1,7	e	102,7 ± 4,6	def	31,3 ± 3,5	cd
T5	A	15	16	62,7 ± 3,5	a	42,7 ± 3,2	a	5,0 ± 1,0	a
T6	A	15	20	129,0 ± 8,0	c	118,3 ± 10,4	fg	62,3 ± 5,0	e
T7	A	20	16	65,3 ± 8,1	a	42,0 ± 7,2	a	9,3 ± 8,5	ab
T8	A	20	20	100,3 ± 11,0	bc	68,7 ± 7,1	abc	17,3 ± 7,2	abc
N1	B	0	16	314,3 ± 2,5	g	81,0 ± 7,9	bcd	46,0 ± 5,3	de
N2	B	0	20	357,3 ± 15,2	h	100,3 ± 10,1	def	51,3 ± 6,7	e
N3	B	10	16	117,0 ± 5,2	cd	80,3 ± 8,5	bcd	13,3 ± 3,2	abc
N4	B	10	20	116,0 ± 2,0	cd	110,3 ± 3,2	efg	29,0 ± 1,0	bcd
N5	B	15	16	140,0 ± 4,6	de	113,3 ± 3,2	efg	58,7 ± 5,5	e
N6	B	15	20	136,3 ± 7,4	de	135,0 ± 20,0	g	61,3 ± 9,5	e
N7	B	20	16	81,3 ± 9,2	ab	56,3 ± 11,7	ab	9,7 ± 10,3	ab
N8	B	20	20	87,0 ± 5,2	ab	82,0 ± 4,4	bcd	28,7 ± 2,5	bcd

X₁: Cultivar; X₂: % café; X₃: % umidade; Vini a 25°C: Viscosidade inicial a 25°C; Vmáx: viscosidade máxima a 95°C; Vmín: viscosidade mínima a 25°C; os dados apresentam a médias ± DP; n=3, letras diferentes numa mesma coluna representam diferença estatística (p<0,05).

Tabela 10. Quebra de viscosidade (breakdown), viscosidade final e tendência à retrogradação.(Setback) em função dos fatores: farinha da cultivar A ou B, percentagem de pó de café e umidade.

Tratamento	X ₁	X ₂	X ₃	QV		Vfin a 25°C			TR	
T1	A	0	16	31,7 ±	2,1 ^a	121,7 ±	6,1 ^e		90,0 ±	5,6 ^d
T2	A	0	20	42,7 ±	3,5 ^{abcd}	172,3 ±	24,0 ^f		129,7 ±	26,3 ^e
T3	A	10	16	44,0 ±	1,0 ^{abcde}	50,7 ±	2,1 ^{ab}		6,7 ±	2,5 ^a
T4	A	10	20	71,3 ±	2,1 ^{gh}	105,3 ±	2,1 ^{de}		34,0 ±	4,0 ^{ab}
T5	A	15	16	37,7 ±	3,5 ^{abc}	50,7 ±	0,6 ^{ab}		13,0 ±	4,0 ^a
T6	A	15	20	56,0 ±	6,1 ^{ef}	117,0 ±	5,6 ^e		61,0 ±	2,6 ^{bcd}
T7	A	20	16	32,7 ±	2,5 ^a	48,3 ±	6,4 ^a		15,7 ±	7,1 ^a
T8	A	20	20	51,3 ±	3,1 ^{de}	68,3 ±	11,0 ^{abc}		17,0 ±	11,3 ^a
N1	B	0	16	35,0 ±	5,0 ^{ab}	121,0 ±	8,2 ^e		86,0 ±	10,8 ^d
N2	B	0	20	49,0 ±	3,6 ^{cde}	175,7 ±	9,5 ^f		126,7 ±	7,6 ^e
N3	B	10	16	67,0 ±	6,2 ^{fg}	77,7 ±	2,1 ^{bc}		10,7 ±	4,6 ^a
N4	B	10	20	81,3 ±	4,2 ^h	114,7 ±	2,1 ^e		33,3 ±	5,5 ^{ab}
N5	B	15	16	54,7 ±	2,3 ^{def}	119,7 ±	10,0 ^e		65,0 ±	12,3 ^c
N6	B	15	20	73,7 ±	10,8 ^{gh}	127,0 ±	10,8 ^e		53,3 ±	12,1 ^{bc}
N7	B	20	16	46,7 ±	1,5 ^{bcde}	53,7 ±	7,2 ^{ab}		7,0 ±	6,2 ^a
N8	B	20	20	53,3 ±	2,1 ^{de}	87,3 ±	5,7 ^{cd}		34,0 ±	6,9 ^{ab}

X₁: Cultivar; X₂: % café; X₃: % umidade; QV: quebra de viscosidade ou breakdown; Vfin: viscosidade final a 25°C; TR: tendência a retrogradação ou setback; os dados apresentam a médias ± DP; n=3, letras diferentes numa mesma coluna representam diferença estatística (p<0,05).

4.3.5 Textura instrumental ou grau de crocância

Na **Tabela 11**, observa-se que o W_c variou na faixa de 1,35 a 5,08 N.mm para a cultivar A e de 1,31 a 4,66 N.mm para a cultivar B. No anexo I pode-se observar as análises de variância para as variáveis respostas da textura instrumental ou grau de crocância, entre estas variáveis temos: Frequência de rupturas (N_{sr}) em mm^{-1} , Força específica das rupturas (F_{sr}) em N, Média da força de compressão (F_c) em N e Trabalho de crocância (W_c) em N.mm. No mesmo anexo observa-se que para a N_{sr} as análises de variância mostraram que os três fatores influenciaram a resposta ($p < 0,05$). Para o N_{sr} todos os efeitos foram significativos, incluindo as suas interações ($p < 0,05$). No caso da F_{sr} , também observa-se que tanto os fatores quanto as suas interações influenciaram na resposta ($p < 0,05$). Para a F_c e o W_c , o fator cultivar não teve diferença significativa ($p > 0,05$), mas os outros dois fatores (percentagem de pó de café e percentagem de umidade), bem como as interações de todos os fatores apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$). No anexo J estão as figuras que representam o comportamento das variáveis N_{sr} , F_{sr} e F_c em função dos fatores farinha de cultivar de sorgo, percentagem de pó de café e percentagem de umidade.

O valor de W_c foi maior na cultivar B que possuem partículas de diâmetro menor (**Figura 32**). Resultados contrários foram reportados por Desrumaux, Bouvier e Burri (1998), mas concordando com o reportado por Carvalho, Takeiti, Onwulata et al. (2010), os quais afirmam que ao aumentar o tamanho da partícula tem como resultado extrudados com tamanho de bolhas ligeiramente maiores e menor densidade aparente.

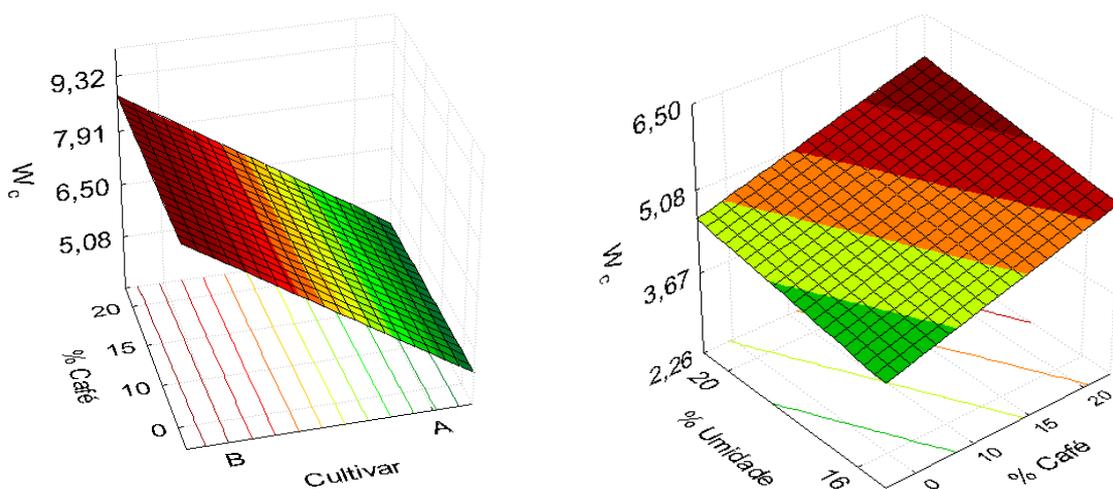


Figura 32. Efeito da cultivar de sorgo A ou B, percentagem de pó de café e percentagem de umidade sobre o trabalho de crocância (W_c) dos extrudados.

Tabela 11. Propriedades mecânicas dos extrudados em função: farinha da cultivar A ou B, percentagem de pó de café e umidade.

Tratamento	X ₁	X ₂	X ₃	Nsr (mm ⁻¹)	Fsr (N)	Fc (N)	Wc (N.mm)
T1	A	0	16	11,28 ± 0,74 ^{ef}	2,78 ± 0,43 ^a	22,18 ± 2,46 ^{abc}	1,98 ± 0,28 ^{bc}
T2	A	0	20	9,50 ± 1,20 ^{bc}	6,49 ± 1,63 ^{bcd}	26,11 ± 4,84 ^{cd}	2,81 ± 0,76 ^e
T3	A	10	16	12,93 ± 0,97 ^h	1,82 ± 0,30 ^a	19,69 ± 2,72 ^{ab}	1,54 ± 0,29 ^{ab}
T4	A	10	20	11,04 ± 1,14 ^{def}	5,06 ± 0,98 ^b	23,89 ± 4,64 ^{bcd}	2,20 ± 0,55 ^{cd}
T5	A	15	16	8,65 ± 1,72 ^{abc}	5,96 ± 2,25 ^{bc}	40,39 ± 11,89 ^h	5,08 ± 2,22 ^h
T6	A	15	20	10,88 ± 1,23 ^{de}	5,16 ± 1,45 ^b	27,48 ± 5,92 ^{cde}	2,60 ± 0,87 ^{de}
T7	A	20	16	12,68 ± 1,31 ^{gh}	1,57 ± 0,22 ^a	16,94 ± 2,44 ^a	1,35 ± 0,22 ^a
T8	A	20	20	9,89 ± 1,12 ^{cd}	6,35 ± 1,12 ^{bcd}	29,06 ± 5,45 ^{def}	2,99 ± 0,74 ^e
N1	B	0	16	11,52 ± 1,15 ^{efg}	2,39 ± 0,60 ^a	18,74 ± 3,35 ^{ab}	1,64 ± 0,33 ^{abc}
N2	B	0	20	7,66 ± 1,22 ^a	11,05 ± 3,43 ^f	34,26 ± 8,84 ^{fgh}	4,66 ± 1,68 ^{gh}
N3	B	10	16	12,80 ± 1,27 ^{gh}	2,00 ± 0,56 ^a	17,58 ± 4,30 ^{ab}	1,40 ± 0,42 ^{ab}
N4	B	10	20	9,20 ± 1,12 ^{bc}	7,37 ± 1,77 ^{cde}	28,52 ± 5,24 ^{def}	3,16 ± 0,76 ^e
N5	B	15	16	12,60 ± 0,98 ^{gh}	1,80 ± 0,35 ^a	16,32 ± 2,91 ^a	1,31 ± 0,30 ^a
N6	B	15	20	8,46 ± 1,12 ^{ab}	8,60 ± 2,17 ^e	35,46 ± 8,42 ^{gh}	4,32 ± 1,39 ^{fg}
N7	B	20	16	12,25 ± 0,98 ^{fgh}	1,84 ± 0,24 ^a	16,88 ± 1,72 ^a	1,38 ± 0,16 ^a
N8	B	20	20	8,67 ± 1,24 ^{abc}	7,82 ± 1,67 ^{de}	33,09 ± 6,92 ^{efg}	3,91 ± 1,04 ^f

X₁: Cultivar; X₂: % café; X₃: % umidade; Nsr: Frequência de rupturas; Fsr: Força específica das rupturas; Fc: Média das forças de compressão; Wc: Trabalho de crocância; os dados apresentam a médias ± DP; n=3, letras diferentes numa mesma coluna representam diferença estatística (p<0,05).

Quando observamos o comportamento da Wc em função da porcentagem de pó de café na mistura, observa-se que houve aumento do Wc a medida que se aumentou a porcentagem de pó de café. ONWULATA et al. (2001) reportaram que um incremento em fibra de cana produz um aumento na força estrutural, reduzindo a expansão. Um aumento no conteúdo de fibra ou proteína resulta em estruturas mais rígidas, contribuindo para aumentar a dureza dos extrudados pela redução do tamanho das células, provavelmente causada pelo rompimento prematuro das bolhas de gás, o qual diminui a expansão e resulta em menor quantidade de poros na microestrutura e por tanto menos crocante (LAZOU e KROKIDA, 2010). O valor de Wc aumentou com o aumento da umidade, devido a que a água atua como plastificante reduzindo a energia mecânica e produzindo extrudados mais densos e duros (CARVALHO et al., 2010).

4.3.6 Cor

A cor é uma característica importante que está diretamente ligada na aceitabilidade do consumidor e é um parâmetro usado para quantificar o efeito dos tratamentos nos alimentos (JIN, HSIEH e HUFF, 1994; NASCIMENTO et al., 2012).

No anexo K encontra-se a ANOVA para os parâmetros de cor. Nota-se que para as variáveis luminosidade (L^*) e diferença de cor (ΔE), todos os três fatores e suas interações foram significativas ($p < 0,05$). Para as variáveis cromaticidade (a^*), cromaticidade (b^*), chroma (C), e ângulo (h°) observa-se que os três fatores tiveram diferença significativa, assim como as interações.

As variáveis luminosidade (L^*), cromaticidade (a^*) e cromaticidade (b^*) mostram menores valores quando a porcentagem de pó de café e o teor de umidade aumentaram. Acredita-se, que o fato de acondicionar as amostras na umidade planejada durante 24 horas para distribuir uniformemente a umidade, faz com que os pigmentos escuros presentes no pó de café sejam mais extraídos. A variação nos valores de cor com o aumento do conteúdo de fibra pode ser causado pela presença dos pigmentos na fibra (JIN, HSIEH e HUFF, 1994).

Os valores de L^* variaram entre 47,01 a 59,44 para a cultivar A e de 47,60 a 52,99 para a cultivar B. Os valores de a^* variaram de 5,24 a 7,25 e de 5,63 a 6,59 para as cultivares A e B respectivamente, e no caso de b^* os valores variaram de 8,01 a 10,61 para a cultivar A e de 9,28 a 11,54 para a cultivar B.

Observa-se na **Figura 33** (a) e (b), para a variável chroma (C) que a porcentagem de pó de café afeta inversamente ou seja que quando a porcentagem de pó de café aumenta, C diminui e por outro lado pode-se observar que C decresce quando a umidade diminui, os valores de C para a cultivar A é 9,15 a 12,96 e para a cultivar B é 10,01 a 13,79 (**Tabela 13**).

Ao analisar a variável ângulo (h°) na **Figura 34** (c) e (d), pode-se observar que quando aumenta a porcentagem de pó de café na mistura o valor de h° também aumenta e do mesmo jeito quando aumenta a umidade o h° aumenta, na Tabela 13 apresenta-se os resultados de h° e os valores para a cultivar A é desde 33,47 a 44,28 e para a cultivar B a faixa é de 32,93 a 43,88.

Para a variável variação de cor (ΔE) observa-se na **Figura 34** (e) e (f) que ao aumentar a porcentagem de pó de café a ΔE também aumenta e com o aumento da umidade tem o mesmo efeito de aumentar o ΔE . Os valores que a ΔE apresentou foram de 33,47 a 44,28 para a cultivar A e de 32,93 a 43,88 para a cultivar B (**Tabela 13**).

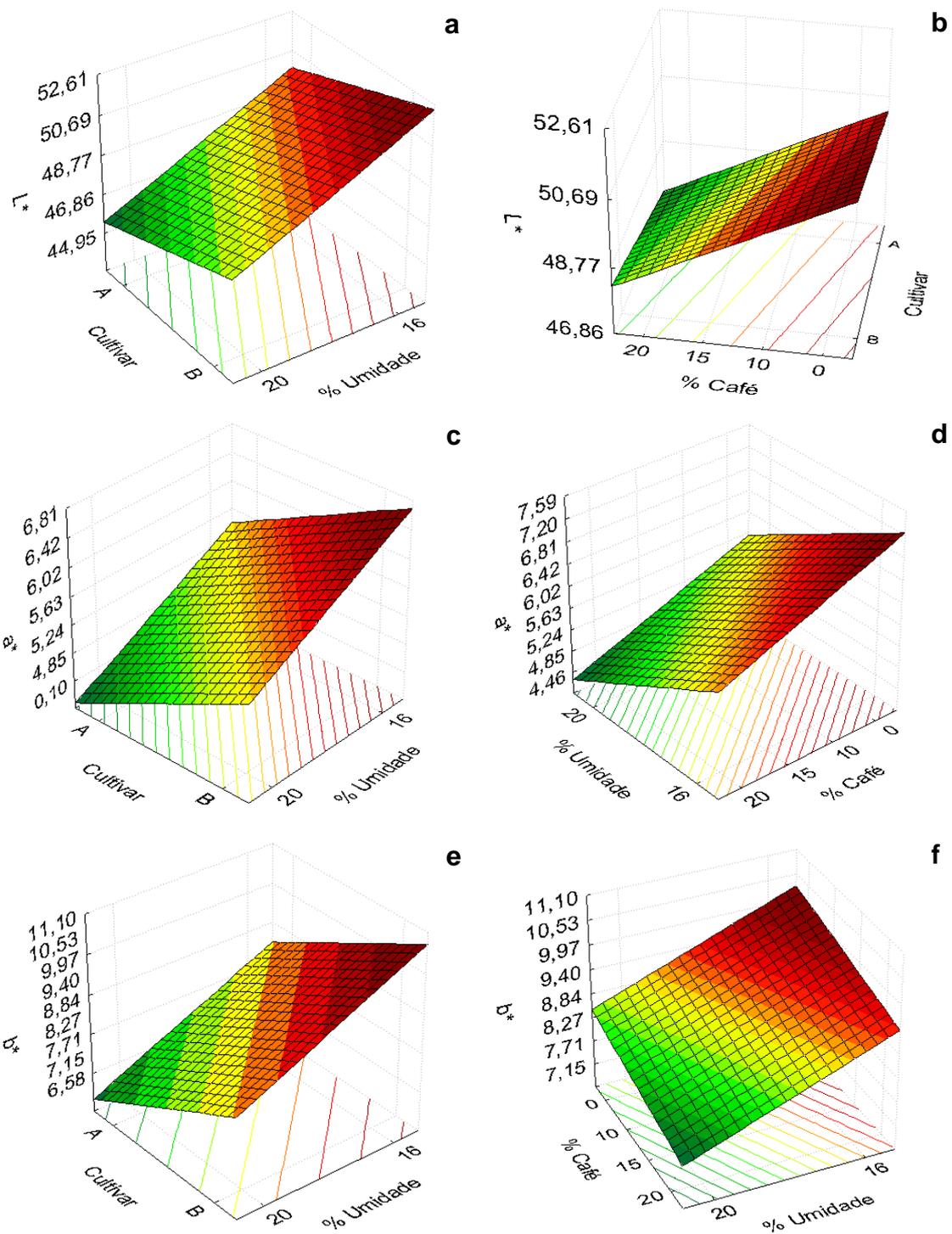


Figura 33. Efeito da cultivar de sorgo A ou B, percentagem de pó de café e percentagem de umidade sobre as variáveis luminosidade (L^*), cromaticidade (a^*) e cromaticidade (b^*) dos extrudados.

Tabela 12. Luminosidade, cromaticidade a* e b* para os extrudados em função dos fatores: farinha da cultivar A ou B, percentagem de pó de café e a umidade.

Tratamento	X ₁	X ₂	X ₃	L*	a*	b*
T1	A	0	16	55,85 ± 0,24 ^e	6,79 ± 0,06 ^{fg}	9,71 ± 0,15 ^{cd}
T2	A	0	20	59,44 ± 0,29 ^f	7,25 ± 0,13 ^{gh}	10,42 ± 0,05 ^{cde}
T3	A	10	16	48,78 ± 0,80 ^{abc}	5,64 ± 0,12 ^{abc}	8,23 ± 0,37 ^a
T4	A	10	20	52,56 ± 0,52 ^d	6,23 ± 0,19 ^{def}	10,61 ± 0,25 ^{de}
T5	A	15	16	48,93 ± 0,11 ^{abc}	5,62 ± 0,06 ^{abc}	8,44 ± 0,12 ^{ab}
T6	A	15	20	51,52 ± 0,23 ^{cd}	6,11 ± 0,04 ^{cde}	10,55 ± 0,07 ^{de}
T7	A	20	16	47,01 ± 0,56 ^a	5,24 ± 0,07 ^a	7,50 ± 0,29 ^a
T8	A	20	20	47,22 ± 0,65 ^a	5,44 ± 0,22 ^{ab}	8,01 ± 0,34 ^a
N1	B	0	16	58,57 ± 0,70 ^f	7,56 ± 0,04 ^h	11,54 ± 0,11 ^e
N2	B	0	20	60,06 ± 0,14 ^f	7,40 ± 0,16 ^h	10,37 ± 0,30 ^{cd}
N3	B	10	16	51,41 ± 0,35 ^{cd}	6,59 ± 0,07 ^{ef}	10,55 ± 0,13 ^{de}
N4	B	10	20	52,99 ± 0,54 ^d	6,25 ± 0,21 ^{def}	10,67 ± 0,29 ^{de}
N5	B	15	16	49,81 ± 1,59 ^{bc}	6,01 ± 0,50 ^{bcd}	9,58 ± 1,07 ^{cd}
N6	B	15	20	50,36 ± 0,90 ^{bc}	6,07 ± 0,11 ^{cde}	9,80 ± 0,08 ^{cd}
N7	B	20	16	47,60 ± 0,56 ^{ab}	5,63 ± 0,06 ^{abc}	8,28 ± 0,24 ^{ab}
N8	B	20	20	49,41 ± 1,63 ^{bc}	5,74 ± 0,60 ^{abcd}	9,36 ± 1,11 ^{bc}

X₁: Cultivar; X₂: % café; X₃: % umidade; L*: Luminosidade; a*: cromaticidade a; b*: cromaticidade b; os dados apresentam a médias ± DP; n=4, letras diferentes numa mesma coluna representam diferença estatística (p<0,05).

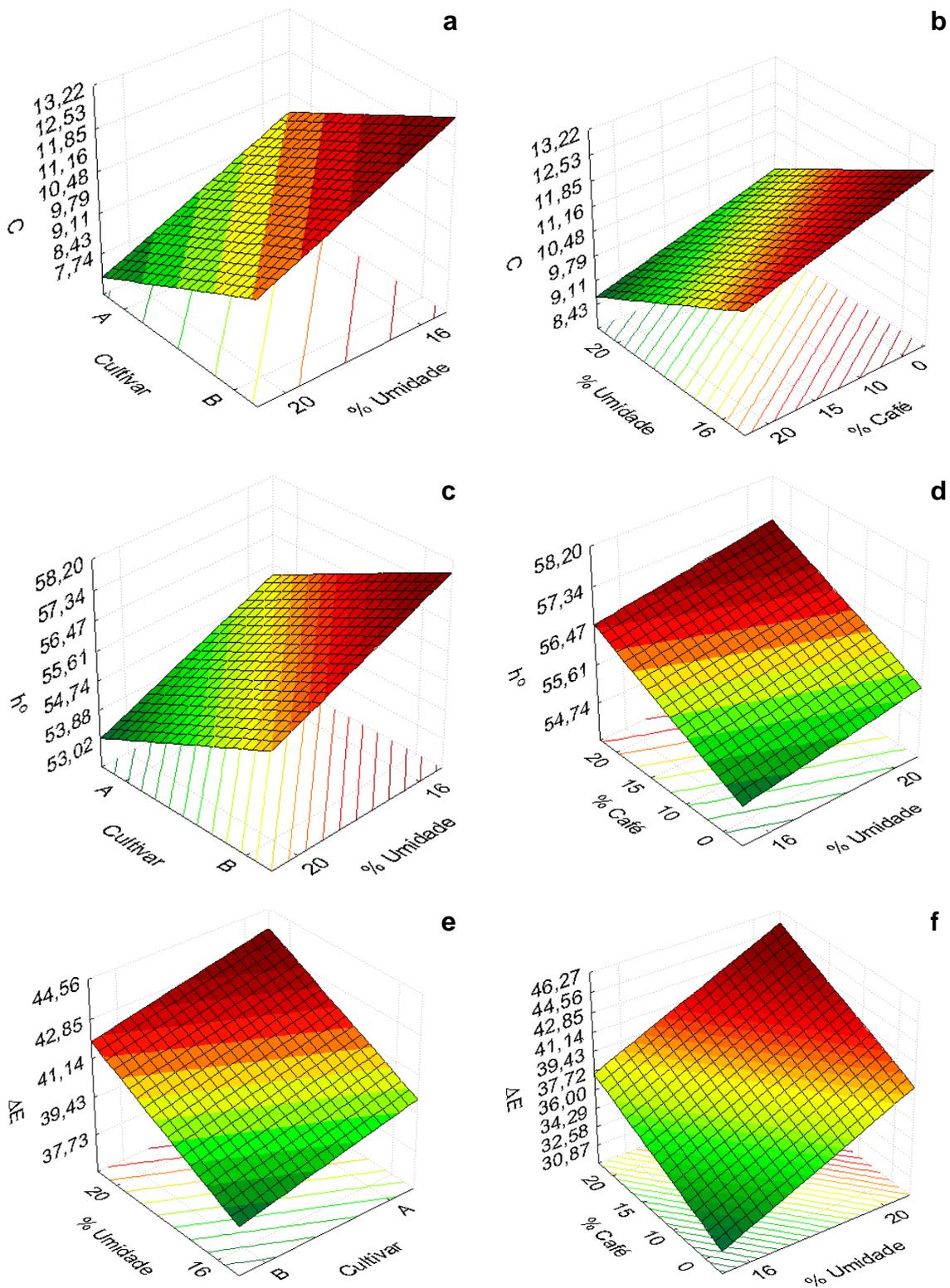


Figura 34. Efeito da cultivar de sorgo A ou B, percentagem de pó de café e percentagem de umidade sobre as variáveis chroma (C), ângulo (h°) e diferença de total de cor (ΔE) dos extrudados.

Tabela 13. Chroma (C), ângulo (h°) e diferença total de cor (ΔE) em função dos fatores: farinha da cultivar A ou B, percentagem de pó de café e percentagem de umidade.

Tratamento	X ₁	X ₂	X ₃	C		h		ΔE	
T1	A	0	16	11,84 ±	0,12 ^{def}	55,03 ±	0,57 ^{ab}	36,50 ±	0,19 ^c
T2	A	0	20	12,69 ±	0,07 ^{fg}	55,19 ±	0,57 ^{ab}	33,47 ±	0,29 ^{ab}
T3	A	10	16	9,97 ±	0,33 ^{ab}	55,57 ±	1,15 ^{abc}	42,74 ±	0,72 ^{ghi}
T4	A	10	20	12,31 ±	0,30 ^{ef}	59,58 ±	0,35 ^{gh}	39,69 ±	0,58 ^d
T5	A	15	16	10,15 ±	0,12 ^{abc}	56,34 ±	0,28 ^{bcd}	42,62 ±	0,08 ^{ghi}
T6	A	15	20	12,20 ±	0,06 ^{def}	59,93 ±	0,24 ^h	40,64 ±	0,22 ^{de}
T7	A	20	16	9,15 ±	0,24 ^a	55,03 ±	1,05 ^{ab}	44,28 ±	0,52 ^l
T8	A	20	20	9,69 ±	0,40 ^a	55,81 ±	0,26 ^{abc}	44,19 ±	0,55 ^{il}
N1	B	0	16	13,79 ±	0,08 ^g	56,75 ±	0,30 ^{cde}	34,67 ±	0,64 ^b
N2	B	0	20	12,73 ±	0,32 ^{fg}	54,48 ±	0,49 ^a	32,93 ±	0,24 ^a
N3	B	10	16	12,44 ±	0,10 ^{ef}	58,00 ±	0,50 ^{ef}	40,85 ±	0,32 ^{def}
N4	B	10	20	12,37 ±	0,35 ^{ef}	59,64 ±	0,22 ^{gh}	39,30 ±	0,40 ^d
N5	B	15	16	11,31 ±	1,17 ^{cde}	57,85 ±	0,88 ^{def}	42,07 ±	1,25 ^{efg}
N6	B	15	20	11,53 ±	0,12 ^{def}	58,21 ±	0,37 ^{efg}	41,58 ±	0,88 ^{efg}
N7	B	20	16	10,01 ±	0,22 ^{ab}	55,77 ±	0,68 ^{abc}	43,88 ±	0,50 ^{hil}
N8	B	20	20	10,98 ±	1,25 ^{bcd}	58,43 ±	0,60 ^{fgh}	42,36 ±	1,28 ^{fgh}

X₁: Cultivar; X₂: % café; X₃: % umidade; C: chroma; h°: ângulo; ΔE : diferença de cor; os dados apresentam a médias ± DP; n=4, letras diferentes numa mesma coluna representam diferença estatística (p<0,05).

4.4 Compostos fenólicos totais

O processo de extrusão envolve alta temperatura, pressão, e cisalhamento, os quais provocam mudanças evidentes em todas as propriedades físico-químicas e funcionais das matérias-primas, incluindo o conteúdo de compostos fenólicos e sua atividade antioxidante, (SARAWONG et al., 2014)

Para estudar como o processo afetou os compostos fenólicos e a capacidade antioxidante foram escolhidos os tratamentos segundo o critério com referência a alimentos que poderiam ser indicados para bebidas e foram os seguintes: T3 que corresponde a cultivar A com 10 % de pó de café na mistura e 16 % de umidade; N7 correspondente a cultivar B com 20 % de pó de café na mistura e 16 % de umidade. As que foram os tratamentos com misturas com pó de café que tiveram os maiores valores de ISA: 14,7 e 11,64 % respectivamente. Além de estes dois tratamentos foram avaliados as duas cultivares de sorgo sem café (T1 cultivar A e N1 cultivar B). E também se incluiu o estudo dos quatro tratamentos mencionados sem ter passado pela extrusão, doravante serão reconhecidos pela letra “C” no nome do tratamento (TC1, TC3, NC1 e NC7), e o pó de café, obtendo-se um total de nove amostras nesta etapa. Na Tabela 14, estão os resultados de compostos fenólicos totais nos destas amostras.

O conteúdo de CPT do pó de café foi de 37,26 mg AG/g, similar ao reportado por Morais, Aquino, Nascimento et al. (2008). Observa-se que no sorgo da cultivar A apresentou um conteúdo significativamente maior ($p < 0,05$) com um valor de 3,17 mg AG/g para o tratamento TC1, enquanto que o NC1 apresentou 1,39 mg AG/g. Khan, Yousif, Johnson et al. (2013), reportaram valores de 6,65 e 2,17 mg AG/g para cultivares vermelho e branco respectivamente, em quanto Awika, Dykes, Rooney et al. (2003) e Awika, Yang, Browning et al. (2009), reportaram valores com uma ampla faixa de conteúdo de CPT no sorgo de diferentes cultivares, com valores variando de 1 a 66 e 7,9 a 29,6 mg AG/g respectivamente.

Pode-se observar na mesma Tabela que o conteúdo de CPT foi influenciado positivamente com o aumento de pó de café na formulação ($p < 0,05$), o que significa que na medida do aumento do pó de café, houve aumento significativo dos CPT nos tratamentos. O conteúdo de CPT no pó de café foi de 37,26 mg AG/g, valor próximo ao reportado por Fulgencio e Goñi (2006), os quais avaliaram o extrato de café (80,6 g de pó de café/1L) obtendo 3,43 mg AG/mL, o qual após a conversão das unidades obteve-se o cerca de 42 mg AG/g.

Observa-se que para os tratamentos sem pó de café, o conteúdo de CPT diminuiu após a extrusão, para o T1 (cultivar A) a diminuição foi significativa ($p < 0,05$) e para N1 foi verificado uma redução não significativa ($p > 0,05$). Outros autores também reportaram a diminuição dos CPT para diferentes produtos incluído o sorgo, foram submetidos a processo de extrusão (MORA-ROCHIN et al., 2010; NAYAK et al., 2011; SHARMA, GUJRAL e SINGH, 2012; KHAN et al., 2013; SARAWONG et al., 2014), entre outros. Esta diminuição pode-se atribuir a descarboxilação dos ácidos fenólicos durante a extrusão (BRENNAN et al., 2011), os autores acrescentaram que as altas temperaturas provocam a decomposição ou a alteração das estruturas moleculares dos compostos fenólicos resultando em uma redução da reatividade química.

Tabela 14. Compostos fenólicos totais (mg AG/g) nos produtos crus e extrudados de misturas de pó de café e farinha de cultivares de sorgo A ou B.

Tratamento	Descrição	Extrudado/Cru	mg AG/g		
Farinhas de sorgo	TC1	A	Cru	3,17 ± 0,12	c
	NC1	B	Cru	1,39 ± 0,04	a
	T1	A 16%*	Extrudado	1,89 ± 0,09	b
	N1	B 16%*	Extrudado	1,24 ± 0,01	a
Misturas de pó de café e sorgo	TC3	A com 10% café	Cru	3,19 ± 0,16	c
	NC7	B com 20% café	Cru	4,24 ± 0,01	d
	T3	A com 10% café; 16%*	Extrudado	4,73 ± 0,08	e
	N7	B com 20% café; 16%*	Extrudado	5,90 ± 0,01	f
Pó de café	- - -	Torrado	37,26 ± 1,10		

A:variedade de sorgo 9929026, B:variedade de sorgo 2012038, *Umidade de processamento. Os dados apresentam a médias ± DP; n=3, letras diferentes numa mesma coluna representam diferença estatística (p<0,05).

Os compostos fenólicos são instáveis a altas temperaturas e são menos resistentes a temperaturas maiores a 80 °C. A redução pode-se atribuir tanto à decomposição dos compostos fenólicos, quanto à alteração da estrutura molecular que diminui sua reatividade química, assim como também sua condição de extração (SHARMA, GUJRAL e SINGH, 2012).

Ao contrario do esperado estes tratamentos tiveram um aumento no conteúdo de CPT. Já foram reportados que em alguns casos os valores de compostos ativos nos produtos extrudados mostram um aumento (STOJCESKA et al., 2008; SINGH, DARTOIS e KAUR, 2010; BRENNAN et al., 2011). O aumento nos níveis de determinados ácidos fenólicos em extrudados é geralmente devido à libertação a partir da matriz da parede celular, pelo efeito do cisalhamento da massa (SHIH, KUO e CHIANG, 2009; BRENNAN et al., 2011). Foi reportado que o fermento nos tecidos e células incrementa o conteúdo de CPT, dependendo do tipo de tecido vegetal (STOJCESKA et al., 2008).

4.5 Compostos fenólicos por CLAE

Geralmente os estudos de atividade antioxidante de produtos crus ou extrudados, reportam somente o conteúdo de compostos fenólicos totais, sem estudar os compostos que podem ser extraídos com hidrólises alcoólicas, ácida e básica. Existe pouca literatura sobre o estudos dos compostos fenólicos livres e ligados, em produtos crus e extrudados (SARAWONG et al., 2014). Na **Figura 35**, esta apresentado o cromatograma e os espectros dos 9 ácidos fenólicos usados como padrões.

Os resultados da avaliação do conteúdo em ácidos fenólicos, incluindo livres e ligados, analisados por CLAE, em amostras de duas cultivares de sorgo (A ou B), do pó de café, bem como das mistura destas, em estado cru e extrudado, são apresentados nas **Tabelas 15 e 16**. A Tabela 15, contém os ácidos fenólicos livres (AFL) que foram extraídos por extração alcoólica e a Tabela 16, expressa o conteúdo de ácidos fenólicos ligados (AFG) os quais estão representados pela soma dos ácidos fenólicos obtidos nas extrações básica e ácida.

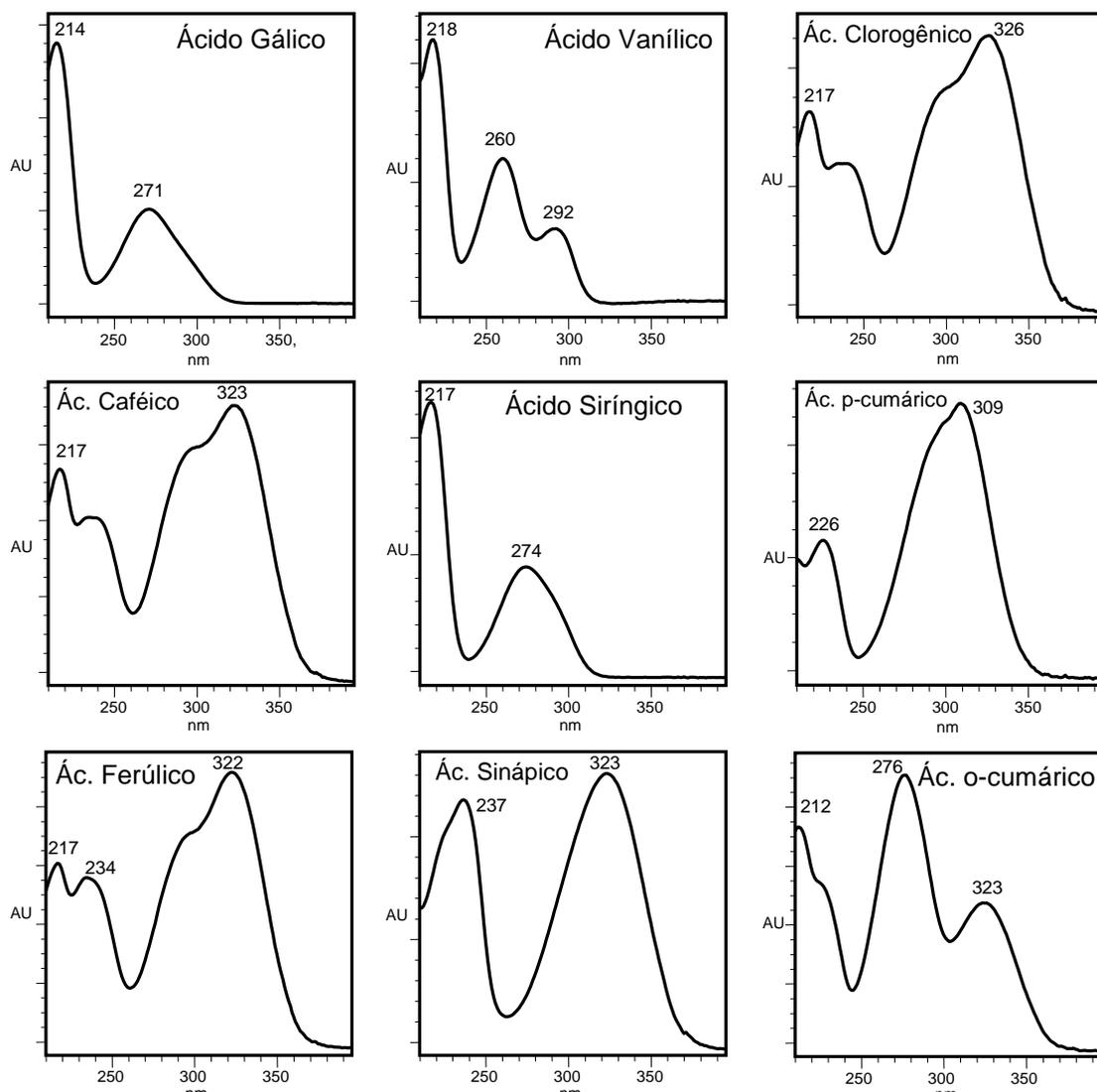
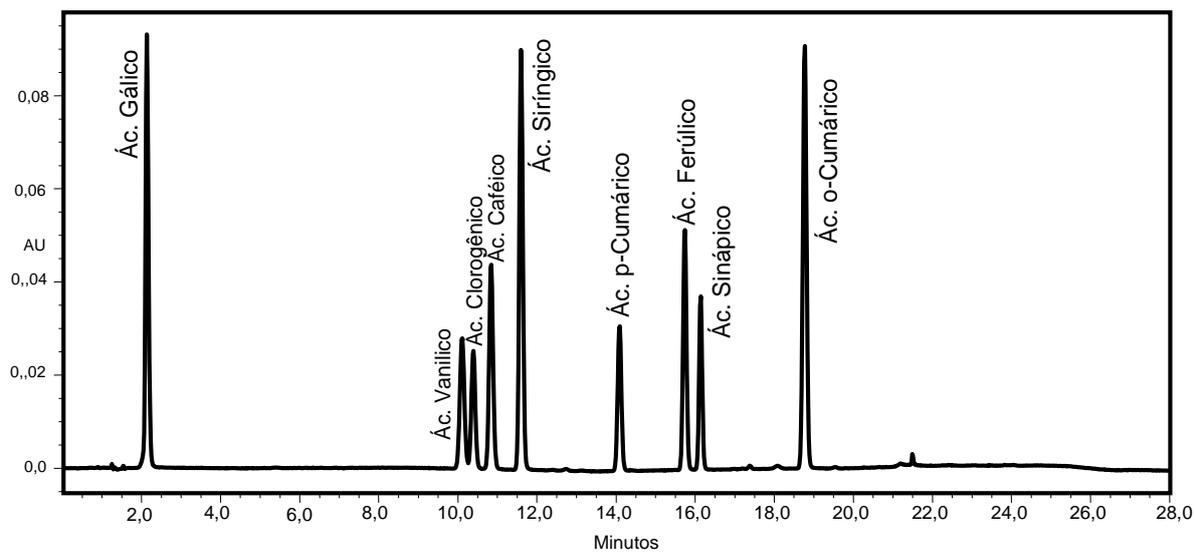


Figura 35. Cromatograma e espectros da mistura de padrões de ácidos fenólicos.

O café apresentou pico detectável de todos os ácidos fenólicos estudados trabalho: gálico, vanílico, clorogênico, caféico, siríngico, p-cumárico, ferúlico, sinápico e ac. o-cumárico. Tresserra-Rimbau, Medina-Remón, Pérez-Jiménez et al. (2012), no seu estudo sobre as fontes de compostos fenólicos na dieta em Espanha reportaram, que considerando produtos alimentícios individuais, o café era a principal fonte de fenólicos na dieta (18%), seguido da laranja (16%) e maçã (12%).

O ácido clorogênico foi encontrado em maior quantidade nos AFL (76 mg/g). Este resultado foi similar ao reportado por Ludwig, Sanchez, Caemmerer et al., (2012). A fração de AFG, teve maior quantidade de ácido caféico (7,5 mg/g) concordando com o afirmado por Gómez-Ruiz, Leake e Ames (2007) e Ludwig, Sanchez, Caemmerer et al., (2012), os quais expressaram que, o ácido clorogênico é o maior composto fenólico do café. Também pode-se encontrar outros compostos fenólicos em quantidades menores como os ácidos: caféico, ferúlico, vanílico, etc. (GÓMEZ-RUIZ, LEAKE e AMES, 2007).

Mattila e Kumpulainen (2002), analisaram bebida de café e os resultados foram similares aos apresentados no presente estudo. Os compostos fenólicos do café são conhecidos pela sua contribuição no sabor e aroma do café, bem como pelas suas propriedades antioxidantes (LUDWIG et al., 2012).

O sorgo possui altos níveis de compostos fenólicos quando comparados com outros cereais amplamente consumidos como trigo, arroz, cevada e milho. No sorgo estes compostos fenólicos estão concentrados nas camadas exteriores do grão e estão na forma de fenólicos livres e ligados (AWIKA e ROONEY, 2004). Todas as cultivares de sorgo possuem compostos fenólicos. O tipo e quantidade presente esta relacionado a cor do pericarpo e a presença de pigmentos na testa e, portanto da cor geral do grão (KHAN et al., 2013). Nas duas cultivares de sorgo, foram encontrados todos os ácidos fenólicos estudados neste trabalho na fração dos AFL, com exceção do ác. gálico que não foi detectado na cultivar B, e o ác. clorogênico que não foi detectado nas duas cultivares na fração de AFG. Em geral a presença de AFG no sorgo foi maior do que os AFL ($p < 0,05$). Os AFL com maior presença foram os ácidos clorogênico, caféico e sinápico e para os AFG foi o ferúlico. O composto fenólico presente em menor quantidade tanto para os AFL quanto para os AFG foi o ác. o-cumárico.

Os resultados de compostos fenólicos no sorgo, apresentados neste trabalho em alguns casos coincidem e em outros são superiores aos reportados por Khan, Yousif, Johnson et al. (2013) e N'dri, Mazzeo, Zaupa et al. (2013). Esta diferença pode ser justificada pela grande faixa no conteúdo de compostos fenólicos que o sorgo apresenta para suas diferentes variedades, como afirmaram diferentes autores (AWIKA, JOSEPH M et al., 2003; AWIKA et al., 2009; KHAN et al., 2013; N'DRI et al., 2013). Um dos primeiros trabalhos que estudaram a composição de compostos fenólicos em diferentes cultivares de sorgo e que estiveram disponíveis, foi apresentado por Hahn, Faubion e Rooney (1983). Neste trabalho foram avaliadas sete cultivares diferentes de sorgo e onze ácidos fenólicos, demonstrando a grande variabilidade que o sorgo tem na sua composição.

Tabela 15. Ácidos fenólicos livres nos produtos crus e extrudados de combinações de pó de café e farinha de cultivares de sorgo A ou B (Continua).

Tratamento	Descrição	Extrudado/ Cru	Composto (µg/g)					
			Ác. gálico	Ác. Vanílico	Ác. clorogénico	Ác. caféico	Ác. sirínico	
Farinhas de sorgo	TC1	A	Cru	1,8 ± 0,1 a	5,8 ± 0,5 a	31,2 ± 3,3 a	14,8 ± 0,6 c	3,0 ± 0,1 a
	NC1	B	Cru	ND	3,1 ± 0,1 a	15,7 ± 1,3 a	20,1 ± 1,0 de	1,0 ± 0,1 a
	T1	A 16%*	Extrudado	ND	22,1 ± 1,8 c	10,0 ± 0,6 a	7,4 ± 0,7 b	ND
	N1	B 16%*	Extrudado	1,7 ± 0,1 a	16,4 ± 1,4 b	14,0 ± 1,5 a	7,0 ± 0,3 b	3,8 ± 0,3 a
Misturas de pó de café e sorgo	TC3	A com 10% café	Cru	3,6 ± 0,2 b	2,9 ± 0,2 a	11273,5 ± 95,3 c	14,4 ± 0,3 c	5,2 ± 0,1 a
	NC7	B com 20% café	Cru	13,4 ± 1,4 d	17,0 ± 1,8 b	21884 ± 1091,4 d	21,4 ± 2,0 e	16,2 ± 9,1 b
	T3	A com 10% café; 16%*	Extrudado	6,2 ± 0,5 c	31,3 ± 3,1 d	10599,1 ± 183,8 c	18,0 ± 1,7 d	1,1 ± 0,1 a
	N7	B com 20% café; 16%*	Extrudado	3,9 ± 0,2 b	6,1 ± 0,6 a	9365,5 ± 92,0 b	2,2 ± 0,2 a	37,5 ± 2,4 c
Pó de café	- - -	Torrado	46,6 ± 3,1	4,7 ± 0,4 a	76879,5 ± 517,7	102,5 ± 8,4	5,8 ± 0,3	

A: variedade de sorgo 9929026, B: variedade de sorgo 2012038, *Umidade de processamento. Os dados apresentam a médias ± DP; n=3, letras diferentes numa mesma coluna representam diferença estatística (p<0,05).

Tabela 15. Continuação.

Tratamento	Descrição	Extrudado/ Cru	Composto ($\mu\text{g/g}$)				
			Ác. p-cumárico	Ác. ferúlico	Ác. sinápico	Ác. o-cumarico	
Farinhas de sorgo	TC1	A	Cru	$0,8 \pm 0,1$ a	$5,7 \pm 0,6$ a	$14,5 \pm 1,0$ d	$0,7 \pm 0,1$ bc
	NC1	B	Cru	$2,5 \pm 0,1$ c	$4,6 \pm 0,3$ a	$13,7 \pm 0,8$ d	$0,6 \pm 0,1$ bc
	T1	A 16%*	Extrudado	$3,0 \pm 0,2$ c	$36,3 \pm 1,1$ c	$4,5 \pm 0,3$ b	$0,2 \pm 0,1$ a
	N1	B 16%*	Extrudado	$3,0 \pm 0,1$ c	$31,5 \pm 2,7$ c	$2,0 \pm 0,2$ a	$0,8 \pm 0,1$ c
Misturas de pó de café e sorgo	TC3	A com 10% café	Cru	$1,8 \pm 0,2$ b	$8,9 \pm 0,8$ a	$2,8 \pm 0,1$ a	$1,5 \pm 0,1$ d
	NC7	B com 20% café	Cru	$6,3 \pm 0,4$ d	$82,4 \pm 7,1$ d	$6,2 \pm 0,2$ c	$4,6 \pm 0,3$ e
	T3	A com 10% café; 16%*	Extrudado	$3,9 \pm 0,3$ d	$4,3 \pm 0,5$ a	$2,2 \pm 0,1$ a	$0,3 \pm 0,1$ ab
	N7	B com 20% café; 16%*	Extrudado	$1,6 \pm 0,1$ b	$23,0 \pm 1,1$ b	$5,3 \pm 0,3$ bc	$0,6 \pm 0,1$ bc
Pó de café	---	Torrado	$5,7 \pm 0,6$	$118,9 \pm 7,9$	$22,7 \pm 2,2$	$10,5 \pm 1,0$	

A:variedade de sorgo 9929026, B:variedade de sorgo 2012038, *Umidade de processamento. Os dados apresentam a médias \pm DP; n=3, letras diferentes numa mesma coluna representam diferença estatística ($p < 0,05$).

Tabela 16. Ácidos fenólicos ligados nos produtos crus e extrudados de combinações de pó de café e farinha de cultivares de sorgo A ou B (Continua).

Tratamento	Descrição	Extrudado/ Cru	Composto (µg/g)					
			Ác. gálico	Ác. vanílico	Ác. clorogénico	Ác. caféico	Ác. sirínico	
Farinhas de sorgo	TC1	A	Cru	32,7 ± 1,4 b	24,3 ± 2,3 b	ND	27,6 ± 2,4 a	7,5 ± 0,7 b
	NC1	B	Cru	19,6 ± 1,4 a	36,1 ± 0,8 c	ND	30,9 ± 1,1 a	8,9 ± 0,4 b
	T1	A 16%*	Extrudado	31,3 ± 1,7 b	39,3 ± 4,0 c	5,9 ± 0,5 a	37,0 ± 0,5 a	8,5 ± 0,3 b
	N1	B 16%*	Extrudado	22,2 ± 1,6 a	48,5 ± 1,8 d	ND	45,2 ± 2,5 a	9,0 ± 0,2 b
Misturas de pó de café e sorgo	TC3	A com 10% café	Cru	33,2 ± 3,2 b	10,1 ± 0,9 a	12,3 ± 0,5 a	435,8 ± 18,8 b	2,9 ± 0,2 a
	NC7	B com 20% café	Cru	42,7 ± 3,6 c	19,7 ± 1,8 b	70,7 ± 4,2 c	1304,5 ± 11,9 d	34,3 ± 0,6 d
	T3	A com 10% café; 16%*	Extrudado	20,2 ± 1,6 a	35,1 ± 1,3 c	25,0 ± 1,6 b	579,4 ± 26,6 c	19,4 ± 1,8 c
	N7	B com 20% café; 16%*	Extrudado	65,0 ± 3,6 d	38,1 ± 2,1 c	30,1 ± 3,2 b	1663,4 ± 99,7 e	52,9 ± 1,9 e
Pó de café	- - -	Torrado	25,9 ± 1,4	25,3 ± 2,5	100,3 ± 7,2	7479,5 ± 59,7	17,6 ± 1,7	

A: variedade de sorgo 9929026, B: variedade de sorgo 2012038, *Umidade de processamento. Os dados apresentam a médias ± DP; n=3, letras diferentes numa mesma coluna representam diferença estatística (p<0,05).

Tabela 16. Continuação.

Tratamento	Descrição	Extrudado/ Cru	Composto ($\mu\text{g/g}$)				
			Ác. p-cumárico	Ác. ferúlico	Ác. sinápico	Ác. o-cumarico	
Farinhas de sorgo	TC1	A	Cru	$60,0 \pm 2,7$ ab	$646,4 \pm 52,1$ b	$14,3 \pm 1,6$ bc	$7,6 \pm 0,9$ c
	NC1	B	Cru	$47,7 \pm 3,1$ a	$706,9 \pm 15,8$ b	$7,8 \pm 0,9$ a	$1,0 \pm 0,1$ a
	T1	A 16%*	Extrudado	$65,1 \pm 3,6$ bc	$359,2 \pm 18,7$ a	$17,9 \pm 1,5$ cd	$5,8 \pm 0,2$ b
	N1	B 16%*	Extrudado	$46,3 \pm 1,7$ a	$745,0 \pm 31,5$ b	$6,5 \pm 0,2$ a	$1,0 \pm 0,1$ a
Misturas de pó de café e sorgo	TC3	A com 10% café	Cru	$66,3 \pm 5,5$ bc	$916,9 \pm 54,8$ c	$21,5 \pm 0,6$ de	$5,7 \pm 1,0$ a
	NC7	B com 20% café	Cru	$76,8 \pm 6,9$ cd	$1126,3 \pm 73,4$ d	$24,4 \pm 1,5$ e	$9,8 \pm 0,1$ d
	T3	A com 10% café; 16%*	Extrudado	$116,3 \pm 6,8$ e	$924,2 \pm 53,8$ c	$12,7 \pm 1,0$ b	$0,5 \pm 0,1$ a
	N7	B com 20% café; 16%*	Extrudado	$85,4 \pm 7,4$ d	$1779,9 \pm 43,3$ e	$37,0 \pm 3,4$ f	$8,4 \pm 0,7$ cd
Pó de café	---	Torrado	$174,7 \pm 10,0$	$2056,7 \pm 97,2$	$49,7 \pm 11,5$	$8,1 \pm 0,6$	

A: variedade de sorgo 9929026, B: variedade de sorgo 2012038, *Umidade de processamento. Os dados apresentam a médias \pm DP; n=3, letras diferentes numa mesma coluna representam diferença estatística ($p < 0,05$).

Durante o processo de extrusão do sorgo sem mistura com pó de café, ocorre, através do cisalhamento e tratamento térmico, a degradação dos compostos protéicos. Isto pode ter favorecido a disponibilidade dos AFL, a qual mostrou um aumento dos ácidos vanílico, siríngico, p-cumárico, ferúlico e o-cumárico, se comparado com o sorgo não processado por extrusão. Por outro lado, houve uma perda nos ácidos clorogênico, caféico e sinápico. Foi reportado que através de processos de hidrólises, alguns compostos se degradam em outros menores, como é o caso do ácido gálico que pode-se subdividir em ácido caféico e ferúlico, consequentemente na quantificação de CLAE poderá observar-se uma variação dos teores de ácidos fenólicos (N'DRI et al., 2013). Um comportamento diferente foi achado para os AFG, na qual foi verificado que a extrusão provocou um aumento no conteúdo em quase todos os AFG do sorgo sem mistura, coincidindo com os autores.

Observa-se nas Tabelas 15 e 16 que o conteúdo de AFL e AFG geralmente aumentaram com o aumento de pó de café na formulação, isto se deve a que o conteúdo dos compostos fenólicos no café foi por muito superior quando comprados com as duas cultivares de sorgo.

Poucos estudos foram reportados sobre o efeito dos processos térmicos no conteúdo de compostos fenólicos (AFL e AFG) por CLAE e não houve reportes disponíveis sobre o efeito do processo de extrusão no conteúdo destes compostos e menos ainda sobre o efeito da extrusão em misturas de café com outros cereais. Como foi explicado anteriormente, em alguns casos o conteúdo de AFL e/ou AFG diminui com o processo de extrusão e em outros casos aumentou. Esta variação no comportamento, pode ser explicado pela desagregação dos compostos fenólicos promovidas pela alta temperatura no processo de extrusão para o caso da diminuição da quantidade, e para o caso do aumento no conteúdo explica-se pela ruptura das células, causada pelo cisalhamento durante a extrusão.

As misturas de pó de café e a farinha de sorgo extrudadas possuem uma importante quantidade de Ácidos clorogênico, caféico, p-cumárico e ferúlico, os quais junto com os outros compostos fenólicos estudados no presente estudo têm propriedades funcionais como atividade antioxidantes (LUDWIG et al., 2012).

Nas **Figuras 36 e 37** pode-se observar os cromatogramas dos tratamentos com a cultivar de sorgo B com 20 % de café na formulação, e a cultivar A com 10 % de café, tanto para produto cru, quanto para o produto extrudado.

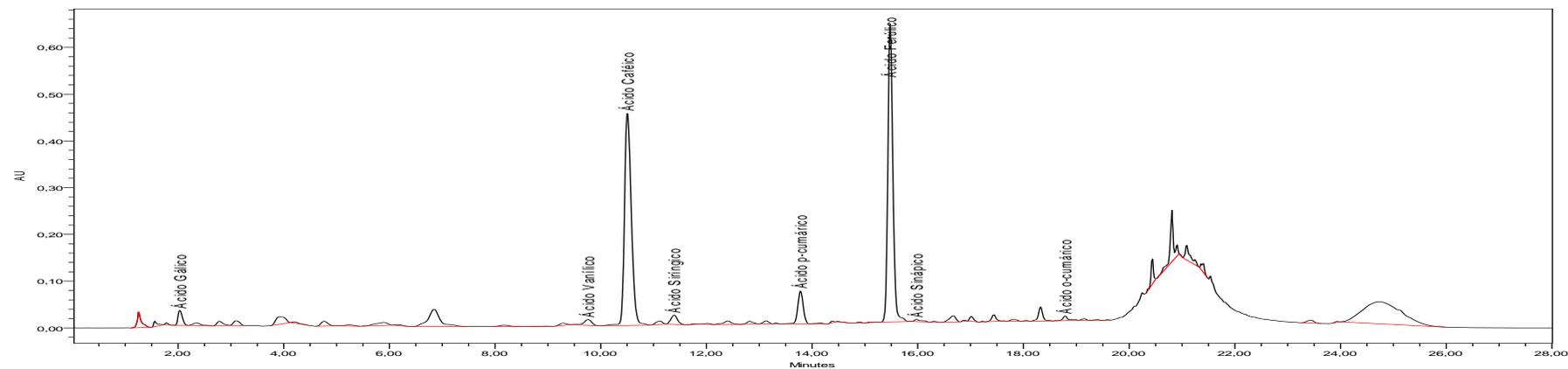
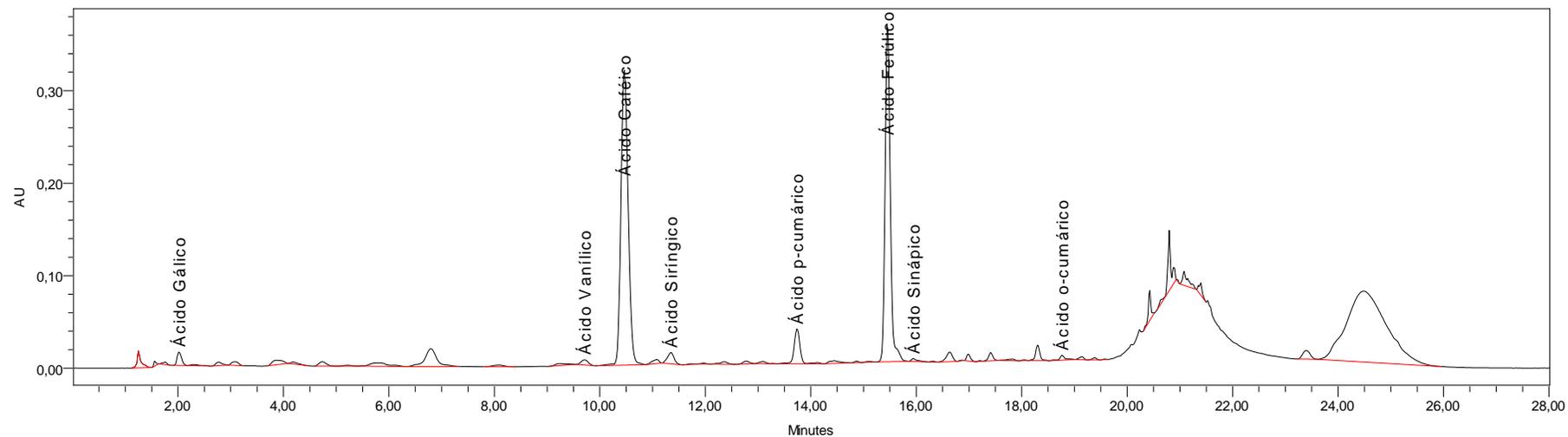


Figura 36. Cromatogramas da extração básica para a cultivar de sorgo B com 20% de café na formulação, (1) tratamento cru (NC4B2) e (2) tratamento extrudado (N7B2).

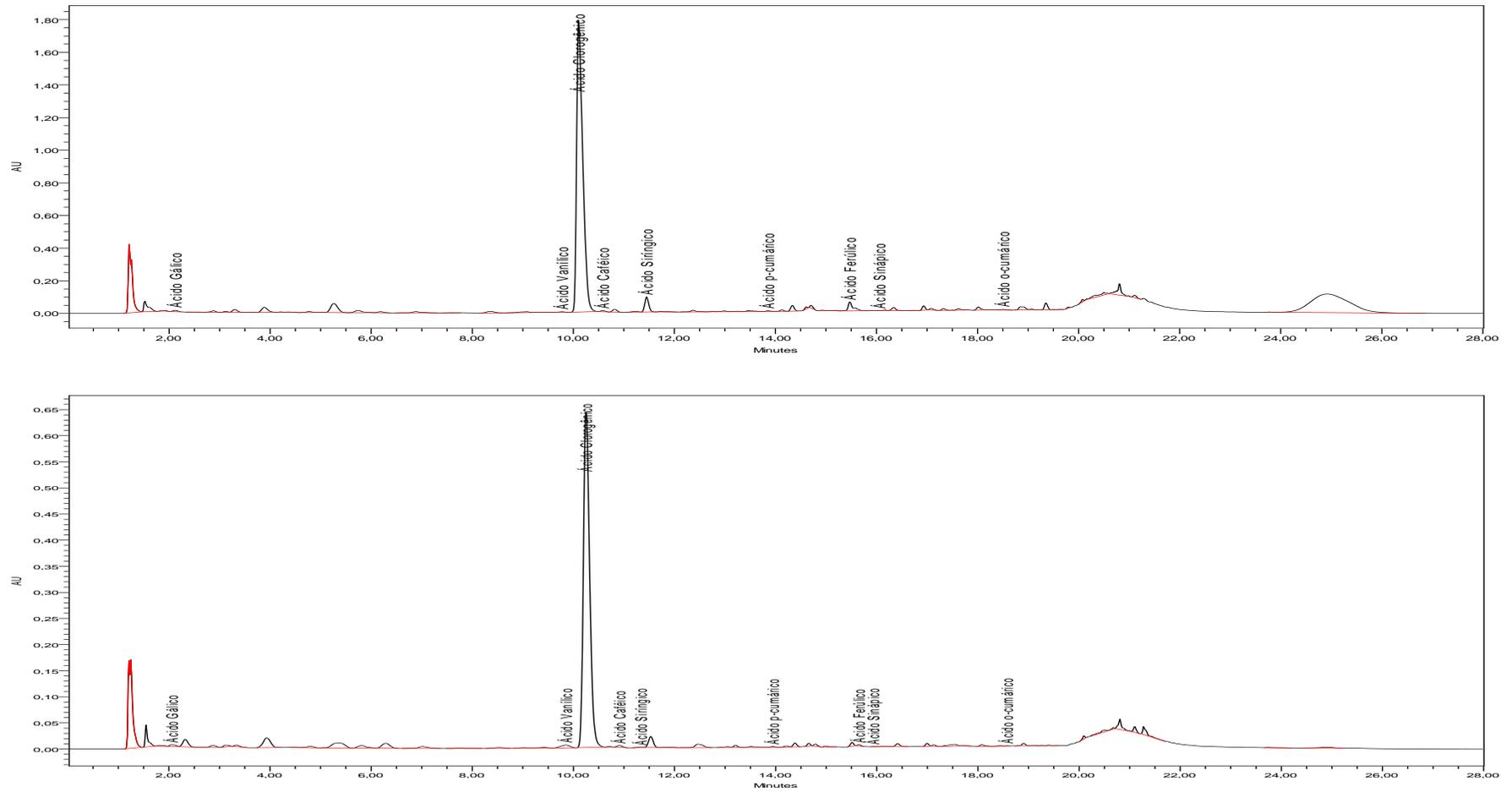


Figura 37. Cromatogramas da extração alcoólica para ácidos fenólicos livres da cultivar de sorgo A com 10% de café na formulação, (1) tratamento cru (TC2L1) e (2) tratamento extrudado (T3L3).

4.6 Antioxidantes

Existe evidência científica crescente que a dieta que possui antioxidantes pode ter efeitos benéficos na saúde. Estas são capazes de neutralizar os radicais livres (FULGENCIO e GOÑI, 2006). O estresse oxidativo está associada a grande parte de doenças cardiovasculares, degenerativas, neurológicas, câncer e o envelhecimento. Uma dieta rica em antioxidantes é boa para a saúde o que vem gerando um aumento de interesse nos estudos de capacidade antioxidante de produtos naturais e processados (LÓPEZ-ALARCÓN e DENICOLA, 2013). No presente estudo foram analisados a capacidade antioxidante dos diferentes tratamento compostos por duas cultivares de sorgo (A ou B), pó de café assim como também de suas misturas, nos estados cru e extrudados.

4.6.1 Radical livre DPPH⁺

Na Tabela 17 estão os resultados da capacidade antioxidante frente ao radical livre DPPH⁺. A capacidade antioxidante foi expressa em IC₅₀ que é a quantidade de amostra que necessária para inibir 50 % do radical livre presente (BRAND-WILLIAMS, CUVELIER e BERSSET, 1995). Pode-se observar que a maior atividade antioxidante foi do pó de café com um valor de 2,53. Valores similares foram reportados por Morais, Aquino, Nascimento et al. (2008) e Morais, Aquino, Nascimento et al. (2009). O segundo melhor resultado foi observado para a mistura da cultivar B com 20 % de pó de café sem extrudar. A capacidade antioxidante do café não depende somente dos compostos fenólicos que este contém, mas também do processo de torrefação uma vez que este promove a formação de compostos da reação de Maillard o qual contribui com a capacidade antioxidante global do café (LUDWIG et al., 2012).

Tabela 17. Capacidade antioxidante frente ao radical DPPH⁺.

Tratamento		Descrição	Extrudado/Cru	IC ₅₀ DPPH
Farinhas de sorgo	TC1	A	Cru	6,05 ± 1,37 ^{ab}
	NC1	B	Cru	54,63 ± 2,67 ^e
	T1	A 16%*	Extrudado	29,60 ± 0,53 ^d
	N1	B 16%*	Extrudado	50,67 ± 1,50 ^e
Misturas de pó de café e sorgo	TC3	A com 10% café	Cru	5,09 ± 0,82 ^{ab}
	NC7	B com 20% café	Cru	2,79 ± 0,25 ^a
	T3	A com 10% café; 16%*	Extrudado	11,82 ± 2,28 ^c
	N7	B com 20% café; 16%*	Extrudado	7,57 ± 0,47 ^b
Pó de café		---	Torrado	2,53 ± 0,26

A: variedade de sorgo 9929026, B: variedade de sorgo 2012038, *Umidade de processamento. Os dados apresentam a médias ± DP; n=3, letras diferentes numa mesma coluna representam diferença estatística (p<0,05). IC₅₀: quantidade de amostra necessária para inibir o 50% do radical livre presente.

Foi notado que o sorgo da cultivar A (TC1) crua apresenta valores superiores que a cultivar B crua (NC1) (p<0,05), esta diferença é atribuída a variabilidade das cultivares como estudos têm mostrado que o sorgo tem uma ampla faixa de valores de capacidade antioxidante frente ao radical DPPH⁺ (AWIKA, JOSEPH M et al., 2003). Ao misturar farinha de sorgo e pó de café, a capacidade antioxidante das amostras cruas, aumenta consideravelmente (tratamentos TC3 e NC7). Quando os tratamentos foram submetidos ao processo de extrusão foi observado que a capacidade antioxidante frente ao radical livre DPPH⁺ diminuiu em todos os tratamentos. Sarawong, Schoenlechner, Sekiguchi et al. (2014), também reportaram uma diminuição da capacidade antioxidante de produtos extrudados, o que pode ser explicado devido a: (1) O processo de extrusão promove a ruptura dos complexos fenólicos em compostos fenólicos de menor massa molar. (2) Estes compostos fenólicos gerados poderiam interagir com as proteínas em condições de altas temperaturas com formação de produtos da

reação de Maillard. Estes compostos de Maillard podem aumentar a capacidade antioxidante, mas esta ligação dos compostos fenólicos com as proteínas pode resultar em uma diminuição da reatividade destes compostos e consequente diminuição da capacidade antioxidante (NAYAK et al., 2011).

4.6.2 Radical livre ABTS⁺

Na Tabela 18 estão apresentados os resultados da capacidade antioxidante frente ao radical livre ABTS⁺. Pode-se observar que a maior atividade antioxidante foi do pó de café com um valor de 439,6 μ M trolox/g. Valores similares foram reportados por Ludwig, Sanchez, Caemmerer et al. (2012).

Os valores das cultivares A e B foram de 46,46 e 17,58 μ M trolox/g, o que está próximo ao reportado por Awika, Yang, Browning et al. (2009) e N'dri, Mazzeo, Zaupa et al. (2013). Esta diferença foi atribuída à cultivar e como foi explicado anteriormente o sorgo possui grandes diferenças de composição entre cultivares.

Foi evidenciado que o sorgo da cultivar A crua (TC1), teve uma atividade antioxidante superior ao sorgo da cultivar B crua (NC1) ($p < 0,05$). Por outro lado, ao misturar farinha de sorgo e pó de café houve aumento na capacidade antioxidante frente ao radical livre ABTS⁺ (tratamentos TC3 e NC7). Já com os tratamentos por extrusão foi observado uma diminuição em todos os tratamentos. Segundo Stojceska, Ainsworth, Plunkett et al. (2009), os produtos da reação de Maillard formados durante os processos de cocção transformam os antioxidantes em produtos mais ou menos reativos, resultando em valores maiores ou menores de capacidade antioxidante.

Tabela 18. Capacidade antioxidante frente ao radical ABTS⁺.

Tratamento		Descrição	Extrudado/Cru	μ M trolox/g	
Farinhas de sorgo	TC1	A	Cru	46,46 \pm 1,34	^c
	NC1	B	Cru	17,58 \pm 0,65	^{ab}
	T1	A 16%*	Extrudado	20,08 \pm 0,98	^b
	N1	B 16%*	Extrudado	12,83 \pm 0,48	^a
Misturas de pó de café e sorgo	TC3	A com 10% café	Cru	70,53 \pm 2,75	^e
	NC7	B com 20% café	Cru	61,43 \pm 4,52	^d
	T3	A com 10% café; 16%*	Extrudado	41,73 \pm 0,41	^c
	N7	B com 20% café; 16%*	Extrudado	95,83 \pm 0,68	^f
Pó de café		- - -	Torrado	439,60 \pm 6,74	

A:variedade de sorgo 9929026, B:variedade de sorgo 2012038, *Umidade de processamento. Os dados apresentam a médias \pm DP; n=3, letras diferentes numa mesma coluna representam diferença estatística ($p < 0,05$).

5 CONCLUSÕES

É possível elaborar alimentos pré-cozidos utilizando misturas de sorgo e pó de café, as quais poderiam ser utilizadas na elaboração de outros alimentos.

Pode-se concluir também que as misturas elaboradas são fontes de fibra alimentar, contribuindo teórica cerca de 14 g.100g⁻¹.

O processo de extrusão é uma tecnologia adequada para a elaboração de uma farinha mista de sorgo e pó de café, com propriedades nutricionais e funcionais adequadas.

Dentre dos testes para avaliar as propriedades físicas dos extrudados das misturas de sorgo e pó de café, pode-se concluir que as farinhas extrudadas possuem índices de solubilidade e absorção de água adequados para o preparo de outros alimentos.

Pode-se concluir que o sorgo contribui com um aporte de P (38 %) e Mg (48 %) aproximadamente do consumo diário recomendado para adultos. Por outro lado, o café aporta com 58, 57, 42 % aproximadamente de K, Mg e Mn, respectivamente. E a elaboração de alimentos utilizando estas duas matérias primas poderia garantir um aporte interessante no consumo diário recomendado para estes minerais.

Pode-se concluir que após o processo de extrusão, houve uma diminuição dos compostos fenólicos totais para os tratamentos sem pó de café. E por outro lado, houve um aumento de compostos fenólicos totais para os tratamentos com misturas de farinha de sorgo e pó de café.

A extrusão reduz a capacidade antioxidante das farinhas frente aos radicais livres DPPH⁺ e ABTS⁺, mas ainda assim, é capaz de manter níveis considerados adequados.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Al-Rabadi, G. J.; Torley, P. J.; Williams, B. A.; Bryden, W. L.; Gidley, M. J. Effect of extrusion temperature and pre-extrusion particle size on starch digestion kinetics in barley and sorghum grain extrudates. **Animal Feed Science and Technology**, v.168, n.3-4, 9/22/, p.267-279. 2011a.

_____. Particle size of milled barley and sorghum and physico-chemical properties of grain following extrusion. **Journal of Food Engineering**, v.103, n.4, 4//, p.464-472. 2011b.

Alam, M. N.; Bristi, N. J.; Rafiquzzaman, M. Review on in vivo and in vitro methods evaluation of antioxidant activity. **Saudi Pharmaceutical Journal**, v.21, n.2, 4//, p.143-152. 2013.

Ali, N. M. M.; Tinay, A. H.; Elkhalfa, A. E. O.; Salih, O. A.; Yousif, N. E. Effect of alkaline pretreatment and cooking on protein fractions of a high-tannin sorghum cultivar. **Food Chemistry**, v.114, n.2, p.646-648. 2009.

Alvarez-Martinez, L.; Kondury, K.; Harper, J. A general model for expansion of extruded products. **Journal of Food Science**, v.53, n.2, p.609-615. 1988.

Alvim, I. D.; Sgarbieri, V. C.; Chang, Y. K. Development of extruded mixed flours based on corn flour, yeast derivatives and casein. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.22, n.2, p.170-176. 2002.

Anderson, R. A.; Conway, H. F.; Pfeifer, V. F.; Griffin, E. L. Gelatinization of corn grits by rolland extrusion cooking. . **Cereal Sci Today**, v.14, n.4, p.11-12. 1969.

Anvisa 2003, **Resolução - RDC nº 360, de 23 de Novembro de 2003 Regulamento Técnico sobre Rotulagem Nutricional de Alimentos Embalados**, Disponível em: <<http://elegis.anvisa.gov.br/leisref/public/showAct?id=9059> >, Acesso em: 07 de Fev. de 2014.

Aoac. **Official Methods of Analysis of the Association of Analytical Chemists International**. Gaithersburg, M.L, v.17. 2010

Awika, J. M.; Dykes, L.; Gu, L.; Rooney, L. W.; Prior, R. L. Processing of sorghum (*Sorghum bicolor*) and sorghum products alters procyanidin oligomer and polymer distribution and content. **Journal of agricultural and food chemistry**, v.51, n.18, p.5516-5521. 2003.

Awika, J. M.; Rooney, L. W. Sorghum phytochemicals and their potential impact on human health. **Phytochemistry**, v.65, n.9, p.1199-1221. 2004.

Awika, J. M.; Rooney, L. W.; Wu, X.; Prior, R. L.; Cisneros-Zevallos, L. Screening methods to measure antioxidant activity of sorghum (*Sorghum bicolor*) and sorghum products. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.51, n.23, p.6657-6662. 2003.

Awika, J. M.; Yang, L.; Browning, J. D.; Faraj, A. Comparative antioxidant, antiproliferative and phase II enzyme inducing potential of sorghum (*Sorghum bicolor*) varieties. **LWT - Food Science and Technology**, v.42, n.6, 7//, p.1041-1046. 2009.

Badarinath, A.; Rao, K. M.; Sudhana Chetty, C. M.; Ramkanth, S.; Rajan, T.; Gnanaprakash, K. A Review on In-vitro Antioxidant Methods: Comparisons, Correlations and Considerations. **International Journal of PharmTech Research**, v.2, n.2. 2010.

Badrie, N.; Mellowes, W. Soybean flour/oil and wheat bran effects on characteristics of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) flour extrudate. **Journal of food science**, v.57, n.1, p.108-111. 1992.

Batra, J.; Seth, P. Effect of iron deficiency on developing rat brain. **Indian Journal of Clinical Biochemistry**, v.17, n.2, p.108-114. 2002.

Becker, A.; Hill, S. E.; Mitchell, J. R. Milling-A further parameter affecting the rapid visco analyser (RVA) profile. **Cereal Chemistry**, v.78, n.2, p.166-172. 2001.

Berrios, J. D. J.; Ascheri, J. L. R.; Losso, J. N. Extrusion Processing of Dry Beans and Pulses. In: Muhammad Siddiq and Mark A. Uebersax. (Org.). Dry Beans and Pulses. . 1ed. Arnes: Iowa State University 2013.

Berrios, J. D. J.; Morales, P.; Cámara, M.; Sánchez-Mata, M. C. Carbohydrate composition of raw and extruded pulse flours. **Food Research International**, v.43, n.2, p.531-536. 2010.

Blackwood, A.; Salter, J.; Dettmar, P.; Chaplin, M. Dietary fibre, physicochemical properties and their relationship to health. **The journal of the Royal Society for the Promotion of Health**, v.120, n.4, p.242-247. 2000.

Blois, M. S. Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. 1958.

Bobbio, F. O.; Bobbio, P. A. **Introdução à química de alimentos**: Livraria Varela. 2003

Borba, A. M.; Sarmiento, S. B. S.; Leonel, M. Efeito dos parâmetros de extrusão sobre as propriedades funcionais de extrusados da farinha de batata-doce. **Food Science and Technology (Campinas)**, v.25, p.835-843. 2005.

Bouvier, J.; Bonneville, R.; Goullieux, A. Instrumental methods for the measurement of extrudate crispness. **Agro Food Industry Hi Tech**, v.8, p.16-20. 1997.

Brand-Williams, W.; Cuvelier, M. E.; Berset, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **LWT - Food Science and Technology**, v.28, n.1, //, p.25-30. 1995.

Brasil 2003, **Resolução RDC ANVISA nº 360 de 23 de novembro de 2003. Aprova o “Regulamento Técnico sobre Rotulagem Nutricional de Alimentos Embalados”, tornando Obrigatorio a rotulagem Nacional**, Disponível em: <<http://www.anvisa.gov.br/e-legis>>, Acesso em: 27 Janeiro 2014.

Brennan, C.; Brennan, M.; Derbyshire, E.; Tiwari, B. K. Effects of extrusion on the polyphenols, vitamins and antioxidant activity of foods. **Trends in Food Science & Technology**, v.22, n.10, p.570-575. 2011.

Cafeicultura 2008, **Classificação botânica do café** Disponível em: <<http://www.revistacafeicultura.com.br/index.php?tipo=ler&mat=15311>>, Acesso em: 08/08/2012.

Camargo, K. F. D.; Leonel, M.; Mischan, M. M. Produção de biscoitos extrusados de polvilho azedo com fibras: efeito de parâmetros operacionais sobre as propriedades físicas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.28, n.3, p.586-591. 2008.

Carocho, M.; Ferreira, I. C. F. R. A review on antioxidants, prooxidants and related controversy: Natural and synthetic compounds, screening and analysis methodologies and future perspectives. **Food and Chemical Toxicology**, v.51, n.0, 1//, p.15-25. 2013.

Carvalho; Ascheri, J.; Cal-Vidal, J. Efeito dos parâmetros de extrusão nas propriedades físicas de extrusados (3G) de misturas de farinhas de trigo, arroz e banana. **Ciência e Agrotecnologia**, v.26, n.5, p.1006-1018. 2002.

Carvalho; Ascheri, J. L. R. Effect of dry-milling on physicochemical characteristics of white corn extrudates. **Alimentaria**, n.305, p.115-119. 1999.

Carvalho; Takeiti, C. Y.; Onwulata, C. I.; Pordesimo, L. O. Relative effect of particle size on the physical properties of corn meal extrudates: Effect of particle size on the extrusion of corn meal. **Journal of Food Engineering**, v.98, n.1, 5, p.103-109. 2010.

Clarke, R. J.; Macrae, R. **Coffee – chemistry**, v.2. 2003. 306 p.

Colonna, P.; Doublier, J.; Melcion, J.; Monredon, F. D.; Mercier, C. Extrusion cooking and drum drying of wheat starch. I. Physical and macromolecular modifications. **Cereal Chemistry**, v.61. 1984.

Chanda, S.; Dave, R. In vitro models for antioxidant activity evaluation and some medicinal plants possessing antioxidant properties: An overview. **African Journal of Microbiology Research**, v.3, n.13, p.981-996. 2009.

Chandra, R. K. Micronutrients and immune functions. An overview. **Annals of the New York Academy of Sciences**, v.587, p.9-16. 1989.

Chang, Y.; Martinez-Bustos, F.; Park, T.; Kokini, J. The influence of specific mechanical energy on cornmeal viscosity measured by an on-line system during twin-screw extrusion. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v.16, n.3, p.285-295. 1999.

Chen, L.; Hu, J. Y.; Wang, S. Q. The role of antioxidants in photoprotection: A critical review. **Journal of the American Academy of Dermatology**, v.67, n.5, 11//, p.1013-1024. 2012.

Chyau, C.-C.; Ko, P.-T.; Mau, J.-L. Antioxidant properties of aqueous extracts from Terminalia catappa leaves. **LWT - Food Science and Technology**, v.39, n.10, p.1099-1108. 2006.

Chyau, C.-C.; Tsai, S. Y.; Ko, P. T.; Mau, J. L. Antioxidant properties of solvent extracts from Terminalia catappa leaves. **Food Chemistry**, v.78, n.4, p.483-488. 2002.

De Oliveira, M. F.; Wang, S. H.; De Souza Costa, P.; Ascheri, J. L. R. Qualidade de cozimento de massas de trigo e soja pre-cozidas por extrusão. **Pesq. agropec. bras., Brasília**, v.39, n.5, p.501-507. 2004.

Deosthale, Y.; Belavady, B. Mineral and trace element composition of sorghum grain: effect of variety, location and application of the nitrogen fertilizer. **Indian journal of nutrition and dietetics**, v.15, n.9, p.302-308. 1978.

Desrumaux, A.; Bouvier, J.; Burri, J. Corn grits particle size and distribution effects on the characteristics of expanded extrudates. **Journal of food science**, v.63, n.5, p.857-863. 1998.

Dlamini, N. R.; Taylor, J. R. N.; Rooney, L. W. The effect of sorghum type and processing on the antioxidant properties of African sorghum-based foods. **Food Chemistry**, v.105, n.4, p.1412-1419. 2007.

Dykes, L.; Rooney, L. W. Sorghum and millet phenols and antioxidants. **Journal of Cereal Science**, v.44, n.3, p.236-251. 2006.

Earp, C.; Doherty, C.; Rooney, L. Fluorescence microscopy of the pericarp, aleurone layer and endosperm cell walls of three sorghum cultivars. **Cereal Chem**, v.60, p.408-410. 1983.

Ebrahimi, A.; Schluesener, H. Natural polyphenols against neurodegenerative disorders: Potentials and pitfalls. **Ageing Research Reviews**, v.11, n.2, 4//, p.329-345. 2012.

Embrapa 2011, **Cultivo do Sorgo** Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/sorgo_7_ed/index.htm>, Acesso em: 3/08/2012.

Fazuoli, L. C.; Costa, W. M.; Toledo, S. V.; Figueiredo, P.; Soler, R. M. **CAFE; PRODUCAO VEGETAL; PROJETO DE DESENVOLVIMENTO; RECURSO ECONOMICO; PESQUISA AGRICOLA; MELHORAMENTO GENETICO VEGETAL; PRAGA DE PLANTA; IRRIGACAO; NUTRICAO VEGETAL**. São Paulo: Secretaria de Agricultura e Abastecimento. 1985. 45 p. (Programa integrado de pesquisa: café).

Fernandes, S. M.; Pinto, N. a. V. D.; Thé, P. M. P.; Pereira, R. G. F. A.; Carvalho, V. D. Teores de polifenóis, ácido clorogênico, cafeína e proteína em café torrado. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.7, n.3, p.197-199. 2001.

Fulgencio, S.-C.; Goñi, I. Antioxidant capacity of the Spanish Mediterranean diet. **Food Chemistry**, v.94, n.3, 2//, p.442-447. 2006.

Furlan, A. C.; Monteiro, R. T.; Scapinello, C.; Moreira, I.; Murakami, A. E.; Ototumi, L.; Santolin, M. L. R. Valor nutritivo e desempenho de coelhos em crescimento alimentados com

rações contendo milho extrudado. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.32, n.5, p.1157-1165. 2003.

Georgé, S.; Brat, P.; Alter, P.; Amiot, M. J. Rapid determination of polyphenols and vitamin C in plant-derived products. **Journal of agricultural and food chemistry**, v.53, n.5, p.1370-1373. 2005.

Giussani, L. M.; Cota-Sánchez, J. H.; Zuloaga, F. O.; Kellogg, E. A. A molecular phylogeny of the grass subfamily Panicoideae (Poaceae) shows multiple origins of C4 photosynthesis. **American Journal of Botany**, v.88, n.11, p.1993-2012. 2001.

Gómez-Ruiz, J. A.; Leake, D. S.; Ames, J. M. In vitro antioxidant activity of coffee compounds and their metabolites. **Journal of agricultural and food chemistry**, v.55, n.17, p.6962-6969. 2007.

Gonçalves, A. M. O. **Influência dos Defeitos dos Grãos de Café na Percepção das Características Sensoriais da Bebida Pelo Consumidor**. Tese 2006. 84 p. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Pós-graduação em Ciência y tecnología de Alimentos, Seropédica.

Gordon, D. T. Functional properties vs physiological action of total dietary fiber. **Cereal Foods World**, v.34. 1989.

Guha, M.; Ali, S. Z.; Bhattacharya, S. Twin-screw extrusion of rice flour without a die: Effect of barrel temperature and screw speed on extrusion and extrudate characteristics. **Journal of Food Engineering**, v.32, n.3, p.251-267. 1997.

Gupta, U. C.; Gupta, S. C. Sources and Deficiency Diseases of Mineral Nutrients in Human Health and Nutrition: A Review. **Pedosphere**, v.24, n.1, 2//, p.13-38. 2014.

Guy, R. Extrusion and co-extrusion of cereals. **Food structure: its creation and evaluation/[edited by] JMV Blanshard, JR Mitchell**. 1988.

Guy, R. **Extrusion cooking: Technologies and applications**: Woodhead publishing. 2001

Hahn, D.; Faubion, J.; Rooney, L. Sorghum phenolic acids, their high performance liquid chromatography separation and their relation to fungal resistance. **Cereal Chemistry**, v.60, n.4, p.255-259. 1983.

Halliwell, B. Reactive oxygen species in living systems: source, biochemistry, and role in human disease. **The American journal of medicine**, v.91, n.3, p.S14-S22. 1991.

Halliwell, B.; Gutteridge, J. M. **Free radicals in biology and medicine**: Oxford university press Oxford, v.3. 1999

Hashimoto, J. M.; Grossmann, M. V. E. Effects of extrusion conditions on quality of cassava bran/cassava starch extrudates. **International journal of food science & technology**, v.38, n.5, p.511-517. 2003.

Hu, Y.; H Mcintosh, G.; P Young, G. Selenium-rich foods: a promising approach to colorectal cancer prevention. **Current pharmaceutical biotechnology**, v.13, n.1, p.165-172. 2012.

Huang, D.; Ou, B.; Prior, R. L. The chemistry behind antioxidant capacity assays. **Journal of agricultural and food chemistry**, v.53, n.6, p.1841-1856. 2005.

Illy, A.; Viani, R. Espresso coffee: the science of quality. London, UK: Academic Press. 2: 385 p. 2005.

Janin, G.; Gonçalves, J. C.; Ananías, R. A.; Charrier, B.; Silva, G. F. D.; Dilem, A. Aesthetics appreciation of wood colour and patterns by colorimetry. Part 1. Colorimetry theory for the CIELab system. 2001.

Jin, Z.; Hsieh, F.; Huff, H. Extrusion cooking of corn meal with soy fiber, salt, and sugar. **Cereal Chemistry**, v.71, n.3, p.227-233. 1994.

Khan, I.; Yousif, A.; Johnson, S. K.; Gamlath, S. Effect of sorghum flour addition on resistant starch content, phenolic profile and antioxidant capacity of durum wheat pasta. **Food Research International**, v.54, n.1, 11//, p.578-586. 2013.

Kokini, J.; Chang, C.; Lai, L. The role of rheological properties on extrudate expansion. In: (Ed.). Food extrusion science and technology. Dekker, NY v.740, 1992. The role of rheological properties on extrudate expansion, p.631-652

Krishnaiah, D.; Sarbatly, R.; Nithyanandam, R. A review of the antioxidant potential of medicinal plant species. **Food and Bioproducts Processing**, v.89, n.3, 7//, p.217-233. 2011.

Kupfer, S. S.; Jabri, B. Pathophysiology of Celiac Disease. **Gastrointestinal Endoscopy Clinics of North America**, v.22, n.4, p.639-660. 2012.

Lásztity, R. **The chemistry of cereal proteins**: CRC. 1996

Lazou, A.; Krokida, M. Structural and textural characterization of corn–lentil extruded snacks. **Journal of food engineering**, v.100, n.3, p.392-408. 2010.

Lobo, V.; Patil, A.; Phatak, A.; Chandra, N. Free radicals, antioxidants and functional foods: Impact on human health. **Pharmacognosy reviews**, v.4, n.8, p.118. 2010.

López-Alarcón, C.; Denicola, A. Evaluating the antioxidant capacity of natural products: A review on chemical and cellular-based assays. **Analytica Chimica Acta**, v.763, n.0, 2/6/, p.1-10. 2013.

Ludwig, I. A.; Sanchez, L.; Caemmerer, B.; Kroh, L. W.; De Peña, M. P.; Cid, C. Extraction of coffee antioxidants: Impact of brewing time and method. **Food Research International**, v.48, n.1, p.57-64. 2012.

Lue, S.; Huff, H. Extrusion cooking of corn meal and sugar beet fiber: effects on expansion properties, starch gelatinization, and dietary fiber content. **Cereal chemistry**. 1991.

Lustosa, B. B.; Leonel, M.; Mischán, M. M. Influência de parâmetros de extrusão na absorção e solubilidade em água de farinhas pré-cozidas de mandioca e caseína. **Alimentos e Nutrição**, v.20, n.2, p.223-229. 2009.

Madeira, M. S. E. **Produção de Macarrão Pré-Cozido à Base de Farinha Mista de Arroz Integral e Milho para Celíacos Utilizando o Processo de Extrusão** Tese 2007. 118 p. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Pós-graduação em Ciência y tecnología de Alimentos, Seropédica.

Makaravicius, T.; Basinskiene, L.; Juodeikiene, G.; Van Gool, M. P.; Schols, H. A. Production of oligosaccharides from extruded wheat and rye biomass using enzymatic treatment. **Catalysis Today**, v.196, n.1, p.16-25. 2012.

Manach, C.; Scalbert, A.; Morand, C.; Rémésy, C.; Jiménez, L. Polyphenols: food sources and bioavailability. **The American journal of clinical nutrition**, v.79, n.5, p.727-747. 2004.

Mathew, J.; Hosney, R.; Faubion, J. Effects of Corn Sample, Mill Type, and Particle Size on Corn Curl and Pet Food Extrudates 1. **Cereal chemistry**, v.76, n.5, p.621-624. 1999.

Mathias, S. V., L. . **Efeito das variáveis de extrusão nas características físicas, químicas, sensoriais e nutricionais da farinha instantânea de misturas de quinoa (*Chenopodium quinoa*, Wild) e arroz (*Oryza sativa*, L.)**. Tese 2002. 174 p. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Pós-graduação em Ciência y tecnología de Alimentos Seropédica.

Mattila, P.; Kumpulainen, J. Determination of Free and Total Phenolic Acids in Plant-Derived Foods by HPLC with Diode-Array Detection. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.50, n.13, 2002/06/01, p.3660-3667. 2002.

Mendes, L. C. **Estudos para determinação das melhores formulações de blends de café arábica (*Coffea arábica*) com café robusta (*Coffea canephora* Conillon) para uso no setor de cafés torrados e moídos espresso**. Tese 2005. Universidade Estadual de Campinas,

Meng, X.; Threinen, D.; Hansen, M.; Driedger, D. Effects of extrusion conditions on system parameters and physical properties of a chickpea flour-based snack. **Food Research International**, v.43, n.2, 3//, p.650-658. 2010.

Mesa-Stonestreet, N. J.; Alavi, S.; Bean, S. R. Sorghum proteins: the concentration, isolation, modification, and food applications of kafirins. **Journal of Food Science**, v.75, n.5, p.R90-R104. 2010.

Mohamed, S. Factors affecting extrusion characteristics of expanded starch- based products. **Journal of Food Processing and preservation**, v.14, n.6, p.437-452. 1990.

Mora-Rochin, S.; Gutiérrez-Urbe, J. A.; Serna-Saldivar, S. O.; Sánchez-Peña, P.; Reyes-Moreno, C.; Milán-Carrillo, J. Phenolic content and antioxidant activity of tortillas produced from pigmented maize processed by conventional nixtamalization or extrusion cooking. **Journal of Cereal Science**, v.52, n.3, 11//, p.502-508. 2010.

Morais, S. a. L. D.; Aquino, F. J. T. D.; Nascimento, E. a. D.; Oliveira, G. S. D.; Chang, R.; Santos, N. C. D.; Rosa, G. M. Análise de compostos bioativos, grupos ácidos e da atividade antioxidante do café arábica (*Coffea arabica*) do cerrado e de seus grãos defeituosos (PVA) submetidos a diferentes torras. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.28, p.198-207. 2008.

Morais, S. a. L. D.; Aquino, F. J. T. D.; Nascimento, P. M. D.; Nascimento, E. a. D.; Chang, R. Compostos bioativos e atividade antioxidante do café conilon submetido a diferentes graus de torra. **Química Nova**, v.32, n.2, p.327-331. 2009.

Murthy, P. S.; Madhava Naidu, M. Sustainable management of coffee industry by-products and value addition - A review. **Resources, Conservation and Recycling**, v.66, n.0, p.45-58. 2012.

N'dri, D.; Mazzeo, T.; Zaupa, M.; Ferracane, R.; Fogliano, V.; Pellegrini, N. Effect of cooking on the total antioxidant capacity and phenolic profile of some whole-meal African cereals. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.93, n.1, p.29-36. 2013.

Nascimento, E. M. D. G. C. D.; Carvalho, C. W. P.; Takeiti, C. Y.; Freitas, D. D. G. C.; Ascheri, J. L. R. Use of sesame oil cake (*Sesamum indicum* L.) on corn expanded extrudates. **Food Research International**, v.45, n.1, 1//, p.434-443. 2012.

Nayak, B.; Berrios, J. D. J.; Powers, J. R.; Tang, J. Effect of Extrusion on the Antioxidant Capacity and Color Attributes of Expanded Extrudates Prepared from Purple Potato and Yellow Pea Flour Mixes. **Journal of Food Science**, v.76, n.6, p.C874-C883. 2011.

Onwulata, C.; Konstance, R. Extruded corn meal and whey protein concentrate: effect of particle size. **Journal of Food Processing and Preservation**, v.30, n.4, p.475-487. 2006.

Onwulata, C.; Konstance, R.; Smith, P.; Holsinger, V. Co-extrusion of dietary fiber and milk proteins in expanded corn products. **LWT-Food Science and Technology**, v.34, n.7, p.424-429. 2001.

Pereira, R. G. F. A.; Barbosa, F. C. R.; Lopes, L. M. V. Avaliação química de misturas em diferentes proporções de café arábica (*Coffea arabica*L.), bebida mole, e Conilon (*Coffea canephora* Pierre). **In: I Simpósio de pesquisa dos cafés do Brasil**, p.643-645. 2000.

Petti, S.; Scully, C. Polyphenols, oral health and disease: A review. **Journal of Dentistry**, v.37, n.6, 6//, p.413-423. 2009.

Peyron, S.; Surget, A.; Mabile, F.; Autran, J.; Rouau, X.; Abecassis, J. Evaluation of tissue dissociation of durum wheat grain (*Triticum durum* Desf.) generated by the milling process. **Journal of Cereal Science**, v.36, n.2, p.199-208. 2002.

Riaz, M.; Mehmood, K. T. SELENIUM IN HUMAN HEALTH AND DISEASE: A REVIEW. **JPMI: Journal of Postgraduate Medical Institute**, v.26, n.2. 2012.

Ryu, G. H.; Ng, P. Effects of selected process parameters on expansion and mechanical properties of wheat flour and whole cornmeal extrudates. **Starch- Stärke**, v.53, n.3- 4, p.147-154. 2001.

Sandoval, M.; Okuhama, N. N.; Angeles, F. M.; Melchor, V. V.; Condezo, L. A.; Lao, J.; Miller, M. J. S. Antioxidant activity of the cruciferous vegetable Maca (*Lepidium meyenii*). **Food Chemistry**, v.79, n.2, p.207-213. 2002a.

Sandoval, M.; Okuhama, N. N.; Zhang, X. J.; Condezo, L. A.; Lao, J.; Angeles, F. M.; Musah, R. A.; Bobrowski, P.; Miller, M. J. S. Anti-inflammatory and antioxidant activities of cat's claw (*Uncaria tomentosa* and *Uncaria guianensis*) are independent of their alkaloid content. **Phytomedicine**, v.9, n.4, p.325-337. 2002b.

Sarawong, C.; Schoenlechner, R.; Sekiguchi, K.; Berghofer, E.; Ng, P. K. Effect of extrusion cooking on the physicochemical properties, resistant starch, phenolic content and antioxidant capacities of green banana flour. **Food chemistry**, v.143, p.33-39. 2014.

Sharma, P.; Gujral, H. S.; Singh, B. Antioxidant activity of barley as affected by extrusion cooking. **Food Chemistry**, v.131, n.4, 4/15/, p.1406-1413. 2012.

Shih, M.-C.; Kuo, C.-C.; Chiang, W. Effects of drying and extrusion on colour, chemical composition, antioxidant activities and mitogenic response of spleen lymphocytes of sweet potatoes. **Food Chemistry**, v.117, n.1, 11/1/, p.114-121. 2009.

Silva, T. C. **Elaboração de massas alimentícias pré-cozidas à base de farinha mista de arroz polido e feijão preto sem casca pelo processo de extrusão termoplástica** Tese 2009. 199 p. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Pós-graduação em Ciência e tecnologia de Alimentos Seropédica.

Singh, J.; Dartois, A.; Kaur, L. Starch digestibility in food matrix: a review. **Trends in Food Science & Technology**, v.21, n.4, 4//, p.168-180. 2010.

Singleton, V.; Rossi, J. A. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. **American journal of Enology and Viticulture**, v.16, n.3, p.144-158. 1965.

Soetan, K.; Olaiya, C.; Oyewole, O. The importance of mineral elements for humans, domestic animals and plants: A review. **African Journal of Food Science**, v.4, n.5, p.200-222. 2010.

Souza, M. S. E. **Perfil sensorial e aceitabilidade do consumidor para blends de bebidas de café preparadas com grãos Arábica (*Coffea arabica* L.) e Conilon (*Coffea canephora* P.)** Tese 2010. 121 p. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Pós-graduação em Ciência y tecnologia de Alimentos, Seropédica.

Sriburi, P.; Hill, S. E.; Barclay, F. Depolymerisation of cassava starch. **Carbohydrate polymers**, v.38, n.3, p.211-218. 1999.

Srichuwong, S.; Sunarti, T. C.; Mishima, T.; Isono, N.; Hisamatsu, M. Starches from different botanical sources II: Contribution of starch structure to swelling and pasting properties. **Carbohydrate polymers**, v.62, n.1, p.25-34. 2005.

Stojceska, V.; Ainsworth, P.; Plunkett, A.; İbanoğlu, E.; İbanoğlu, Ş. Cauliflower by-products as a new source of dietary fibre, antioxidants and proteins in cereal based ready-to-eat expanded snacks. **Journal of Food Engineering**, v.87, n.4, 8//, p.554-563. 2008.

Stojceska, V.; Ainsworth, P.; Plunkett, A.; İbanoğlu, Ş. The effect of extrusion cooking using different water feed rates on the quality of ready-to-eat snacks made from food by-products. **Food Chemistry**, v.114, n.1, 5/1/, p.226-232. 2009.

Tan, J. C.; Burns, D. L.; Jones, H. R. Severe ataxia, myelopathy, and peripheral neuropathy due to acquired copper deficiency in a patient with history of gastrectomy. **Journal of Parenteral and Enteral Nutrition**, v.30, n.5, p.446-450. 2006.

Thiré, R. M.; Simão, R. A.; Andrade, C. T. High resolution imaging of the microstructure of maize starch films. **Carbohydrate Polymers**, v.54, n.2, p.149-158. 2003.

Tresserra-Rimbau, A.; Medina-Remón, A.; Pérez-Jiménez, J.; Martínez-González, M. A.; Covas, M. I.; Corella, D.; Salas-Salvadó, J.; Gómez-Gracia, E.; Lapetra, J.; Arós, F.; Fiol, M.; Ros, E.; Serra-Majem, L.; Pintó, X.; Muñoz, M. A.; Saez, G. T.; Ruiz-Gutiérrez, V.; Warnberg, J.; Estruch, R.; Lamuela-Raventós, R. M. Dietary intake and major food sources of polyphenols in a Spanish population at high cardiovascular risk: The PREDIMED study. **Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases**, n.0. 2012.

Vallabhaneni, R.; Bradbury, L. M. T.; Wurtzel, E. T. The carotenoid dioxygenase gene family in maize, sorghum, and rice. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, v.504, n.1, p.104-111. 2010.

Vargas-Solórzano, J. W. **Obtenção e caracterização de farinha extrudada de diferentes genótipos de sorgo para o desenvolvimento de biscoitos doces**. Tese 2013. 127 p. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Seropédica.

Vargas-Solórzano, J. W.; Carvalho, C. W. P.; Takeiti, C. Y.; Ascheri, J. L. R.; Queiroz, V. a. V. Physicochemical properties of expanded extrudates from colored sorghum genotypes. **Food Research International**, v.55, n.0, 1//, p.37-44. 2014.

Wanders, A. J.; Feskens, E. J. M.; Jonathan, M. C.; Schols, H. A.; De Graaf, C.; Mars, M. Pectin is not pectin: A randomized trial on the effect of different physicochemical properties of dietary fiber on appetite and energy intake. **Physiology & Behavior**, v.128, n.0, 4/10/, p.212-219. 2014.

Whalen, P.; Bason, M.; Booth, R.; Walker, C.; Williams, P. Measurement of extrusion effects by viscosity profile using the rapid viscoanalyser. **Cereal Foods World**, v.42, n.6, p.469-475. 1997.

Wiernsperger, N. Oxidative stress as a therapeutic target in diabetes: revisiting the controversy. **Diabetes & metabolism**, v.29, n.6, p.579-585. 2003.

Yousif, A.; Nhepera, D.; Johnson, S. Influence of sorghum flour addition on flat bread in vitro starch digestibility, antioxidant capacity and consumer acceptability. **Food Chemistry**, v.134, p.880-887. 2012.

ANEXOS

Anexo A. Distribuição de partículas da farinha de sorgo integral.

Diâmetro da peneira (mm)	Sorgo A	% de A Acumulado	Sorgo B	% de B Acumulado
2	2,12 ± 0,24 ^a	2,12	1,60 ± 0,29 ^a	1,60
1,68	7,65 ± 0,39 ^a	9,78	4,19 ± 0,62 ^b	5,79
1,4	28,67 ± 0,76 ^a	38,45	16,14 ± 0,49 ^b	21,93
1,18	24,61 ± 0,18 ^a	63,06	17,70 ± 0,28 ^b	39,63
0,85	16,61 ± 0,39 ^a	79,67	24,88 ± 0,33 ^b	64,51
0,6	5,93 ± 0,52 ^a	85,60	15,37 ± 0,44 ^b	79,88
0,212	7,45 ± 0,28 ^a	93,04	12,49 ± 0,36 ^b	92,37
Fundo	6,96 ± 0,11 ^a	100,00	7,63 ± 0,05 ^a	100,00

Os resultados expressam a média ± desvio padrão das percentagens em massa que foram retidos após o peneiramento de 10 min (n=3)

Anexo B. Vazão e densidade aparente dos extrudados.

Tratamento	X ₁	X ₂	X ₃	Vazão (kg/min)	DA (g/cm ³)
T1	A	0	16	3,70 ± 0,03 ^{bc}	0,2437 ± 0,0041 ^a
T2	A	0	20	3,76 ± 0,02 ^{bcd}	0,3694 ± 0,0063 ^d
T3	A	10	16	2,43 ± 0,05 ^a	0,3137 ± 0,0062 ^c
T4	A	10	20	4,28 ± 0,12 ^{cde}	0,4186 ± 0,0096 ^{ef}
T5	A	15	16	3,47 ± 0,11 ^b	0,3614 ± 0,0091 ^d
T6	A	15	20	4,33 ± 0,16 ^{de}	0,3662 ± 0,0065 ^d
T7	A	20	16	3,82 ± 0,05 ^{bcd}	0,2708 ± 0,0035 ^{ab}
T8	A	20	20	4,57 ± 0,15 ^e	0,4118 ± 0,0044 ^e
N1	B	0	16	3,37 ± 0,03 ^b	0,2440 ± 0,0066 ^a
N2	B	0	20	4,45 ± 0,03 ^e	0,4954 ± 0,0147 ^g
N3	B	10	16	2,63 ± 0,08 ^a	0,2979 ± 0,0073 ^{bc}
N4	B	10	20	4,73 ± 0,17 ^e	0,4168 ± 0,0114 ^{ef}
N5	B	15	16	3,79 ± 0,06 ^{bcd}	0,2840 ± 0,0060 ^{bc}
N6	B	15	20	5,61 ± 0,15 ^f	0,4473 ± 0,0071 ^{ef}
N7	B	20	16	4,24 ± 0,09 ^{cde}	0,2795 ± 0,0045 ^{abc}
N8	B	20	20	5,60 ± 0,23 ^f	0,4529 ± 0,0121 ^f

X₁: Cultivar; X₂: % café; X₃: % umidade; DA: densidade aparente. Os dados apresentam a médias ± DP; para a vazão n=3, para DA n=20. Letras diferentes numa mesma coluna representam diferença estatística (p<0,05).

Anexo C. Análises de variância para os índices de expansão referente ao processo de extrusão de pó de café e duas cultivares de sorgo.

Resposta	Fonte	SQ	Gl	QM	Fcal	Valor-P
Índice de Expansão Radial	CU	3,715	1	3,715	25,20	0,0000
	CA	207,425	3	69,142	468,97	0,0000
	UM	168,345	1	168,345	1141,83	0,0000
	CU*CA	13,095	3	4,365	29,61	0,0000
	CU*UM	9,146	1	9,146	62,04	0,0000
	CA*UM	33,821	3	11,274	76,47	0,0000
	CU*CA*UM	2,7367	3	0,912	6,19	0,0004
	Residuo	44,820	304	0,147		
Total	483,105	319				
Índice de Expansão Longitudinal	CU	0,205	1	0,205	26,72	0,0000
	CA	12,212	3	4,071	530,51	0,0000
	UM	6,664	1	6,664	868,51	0,0000
	CU*CA	0,234	3	0,078	10,15	0,0000
	CU*UM	0,366	1	0,366	47,68	0,0000
	CA*UM	1,188	3	0,396	51,62	0,0000
	CU*CA*UM	0,328	3	0,109	14,24	0,0000
	Residuo	2,333	304	0,008		
Total	23,530	319				
Índice de Expansão Volumétrico	CU	14,904	1	14,904	35,67	0,0000
	CA	62,419	3	20,806	49,79	0,0000
	UM	848,253	1	848,253	2029,92	0,0000
	CU*CA	11,994	3	3,998	9,57	0,0000
	CU*UM	43,719	1	43,719	104,62	0,0000
	CA*UM	60,314	3	20,105	48,11	0,0000
	CU*CA*UM	24,730	3	8,243	19,73	0,0000
	Residuo	127,034	304	0,418		
Total	1193,370	319				

CU: cultivar de sorgo; CA: % pó de café na mistura; UM: % umidade; SQ: soma de quadrados; GL: graus de liberdade; QM : quadrado médio; Fcal: valor do teste F, valor de probabilidade considerando um nível de significância de 5%; n=20.

Anexo D. Análises de variância para o índice de solubilidade de água e o índice de absorção de água referente ao processo de extrusão de pó de café e duas cultivares de sorgo.

Resposta	Fonte	SQ	Gl	QM	Fcal	Valor-P
Índice de Solubilidade de água	CU	42,142	1	42,142	237,11	0,0000
	CA	500,952	3	166,984	939,54	0,0000
	UM	57,639	1	57,639	324,31	0,0000
	CU*CA	13,486	3	4,495	25,29	0,0000
	CU*UM	3,765	1	3,765	21,18	0,0001
	CA*UM	19,042	3	6,347	35,71	0,0000
	CU*CA*UM	7,168	3	2,389	13,44	0,0000
	Residuo	5,687	32	0,178		
	Total	649,883	47			
Índice de Absorção de água	CU	0,013	1	0,013	3,15	0,0853
	CA	8,435	3	2,811	664,38	0,0000
	UM	0,240	1	0,240	56,68	0,0000
	CU*CA	0,271	3	0,090	21,34	0,0000
	CU*UM	0,385	1	0,385	91,00	0,0000
	CA*UM	0,067	3	0,022	5,29	0,0045
	CU*CA*UM	0,031	3	0,010	2,41	0,0848
	Residuo	0,135	32	0,004		
	Total	9,577	47			

CU: cultivar de sorgo; CA: % pó de café na mistura; UM: % umidade; SQ: soma de quadrados; GL: graus de liberdade; QM : quadrado médio; Fcal: valor do teste F, valor de probabilidade considerando um nível de significância de 5%; n=3.

Anexo E. Análises de variância para os parâmetros de viscosidade inicial, viscosidade máxima e viscosidade mínima da extrusão de pó de café e duas cultivares de sorgo.

Resposta	Fonte	SQ	Gl	QM	Fcal	Valor-P
Viscosidade Inicial	CU	1230,19	1	1230,19	16,72	0,0003
	CA	490454,	3	163485,	2222,39	0,0000
	UM	20875,0	1	20875,0	283,77	0,0000
	CU*CA	4171,56	3	1390,52	18,90	0,0000
	CU*UM	11316,0	1	11316,0	153,83	0,0000
	CA*UM	5429,06	3	1809,69	24,60	0,0000
	CU*CA*UM	1079,73	3	359,91	4,89	0,0065
	Residuo	2354,0	32	73,5625		
Total	536909,	47				
Viscosidade Máxima	CU	4485,33	1	4485,33	57,27	0,0000
	CA	10258,8	3	3419,61	43,67	0,0000
	UM	12740,1	1	12740,1	162,68	0,0000
	CU*CA	3092,5	3	1030,83	13,16	0,0000
	CU*UM	850,083	1	850,083	10,86	0,0024
	CA*UM	2435,08	3	811,694	10,36	0,0001
	CU*CA*UM	1984,75	3	661,583	8,45	0,0003
	Residuo	2506,0	32	78,3125		
Total	38352,7	47				
Viscosidade Mínima	CU	705,333	1	705,333	16,24	0,0003
	CA	12085,8	3	4028,61	92,75	0,0000
	UM	3234,08	1	3234,08	74,45	0,0000
	CU*CA	1625,5	3	541,833	12,47	0,0000
	CU*UM	396,75	1	396,75	9,13	0,0049
	CA*UM	1486,75	3	495,583	11,41	0,0000
	CU*CA*UM	2147,42	3	715,806	16,48	0,0000
	Residuo	1390,0	32	43,4375		
Total	23071,7	47				

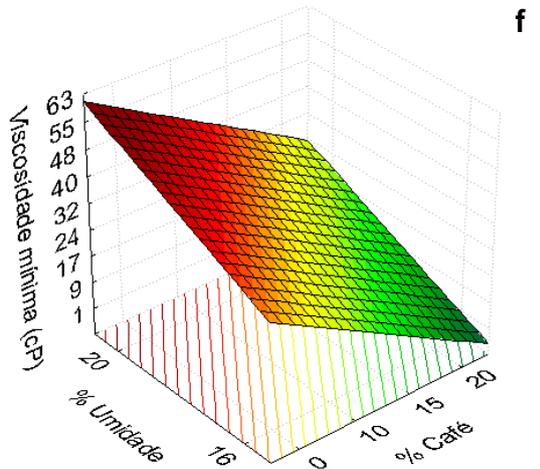
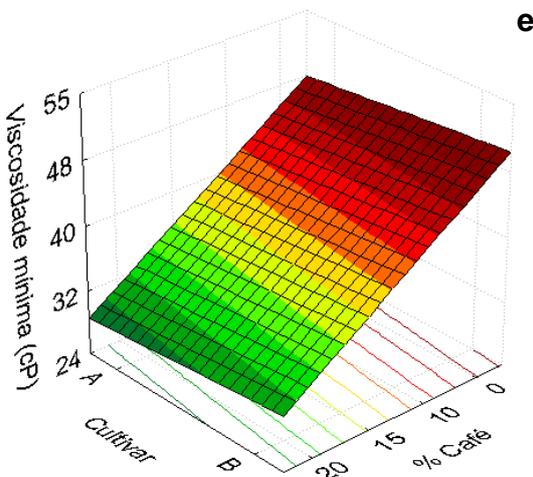
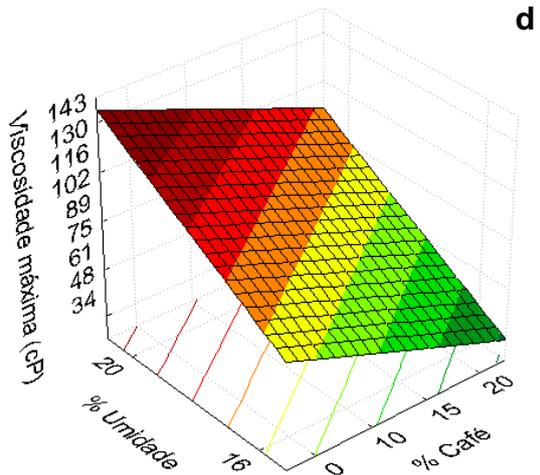
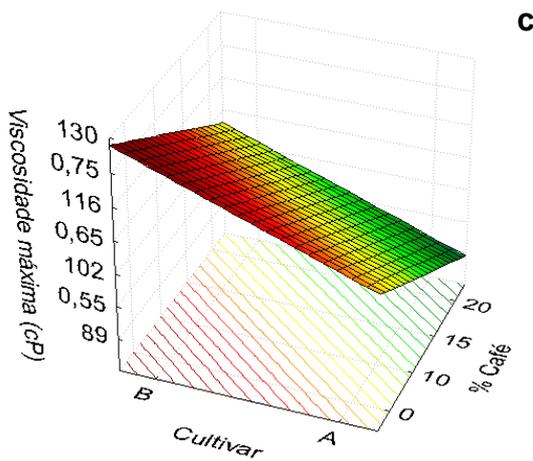
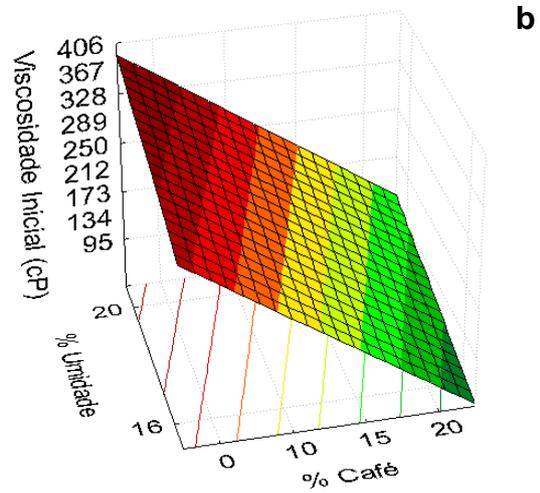
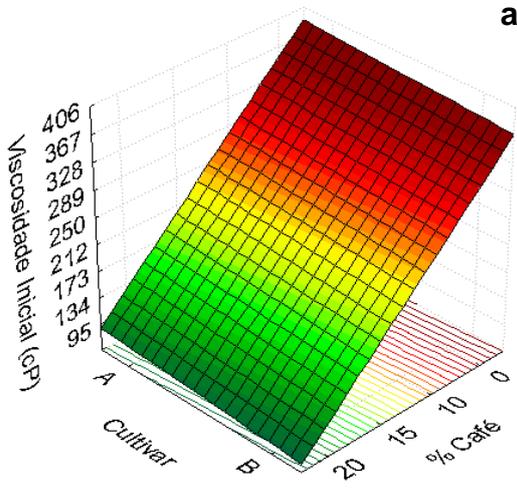
CU: cultivar de sorgo; CA: % pó de café na mistura; UM: % umidade; SQ: soma de quadrados; GL: graus de liberdade; QM : quadrado médio; Fcal: valor do teste F, valor de probabilidade considerando um nível de significância de 5%; n=3.

Anexo F. Análises de variância para os parâmetros de Breakdown, viscosidade final e setback da pasta da extrusão de pó de café e duas cultivares de sorgo.

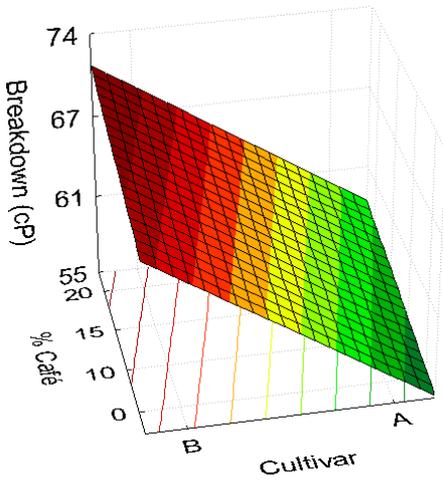
Resposta	Fonte	SQ	Gl	QM	Fcal	Valor-P
Breakdown	CU	1633,33	1	1633,33	84,39	0,0000
	CA	4750,17	3	1583,39	81,81	0,0000
	UM	3136,33	1	3136,33	162,05	0,0000
	CU*CA	346,833	3	115,611	5,97	0,0024
	CU*UM	85,3333	1	85,3333	4,41	0,0437
	CA*UM	161,167	3	53,7222	2,78	0,0572
	CU*CA*UM	156,5	3	52,1667	2,70	0,0624
	Residuo	619,333	32	19,3542		
	Total	10889,0	47			
Viscosidade Final	CU	3798,52	1	3798,52	47,36	0,0000
	CA	44592,9	3	14864,3	185,32	0,0000
	UM	19723,5	1	19723,5	245,90	0,0000
	CU*CA	2321,73	3	773,91	9,65	0,0001
	CU*UM	652,688	1	652,688	8,14	0,0075
	CA*UM	1130,06	3	376,688	4,70	0,0079
	CU*CA*UM	2344,23	3	781,41	9,74	0,0001
	Residuo	2566,67	32	80,2083		
	Total	77130,3	47			
Setback	CU	450,188	1	450,188	4,63	0,0391
	CA	62420,4	3	20806,8	213,91	0,0000
	UM	7129,69	1	7129,69	73,30	0,0000
	CU*CA	1121,06	3	373,688	3,84	0,0186
	CU*UM	266,021	1	266,021	2,73	0,1080
	CA*UM	1177,56	3	392,521	4,04	0,0153
	CU*CA*UM	2915,23	3	971,743	9,99	0,0001
	Residuo	3112,67	32	97,2708		
	Total	78592,8	47			

CU: cultivar de sorgo; CA: % pó de café na mistura; UM: % umidade; SQ: soma de quadrados; GL: graus de liberdade; QM : quadrado médio; Fcal: valor do teste F, valor de probabilidade considerando um nível de significância de 5%; n=3.

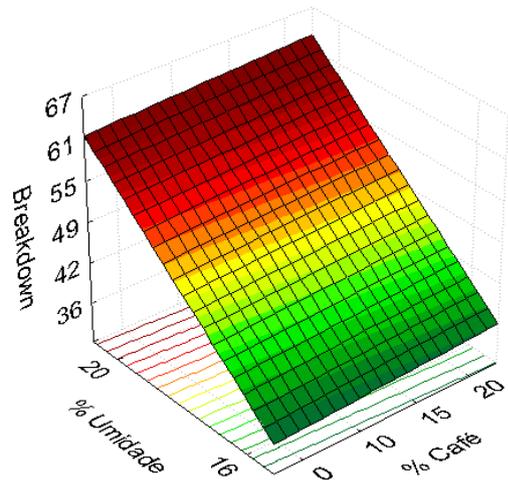
Anexo G. Efeito nas variáveis: viscosidade inicial ao frio 25°C, viscosidade máxima a 95°C e viscosidade mínima a 95°C no processo de extrusão em função dos fatores: farinha da cultivar A ou B, percentagem de pó de café e percentagem de umidade.



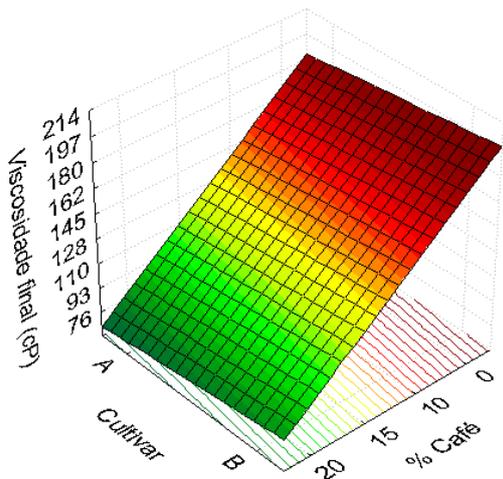
Anexo H. Efeito nas variáveis breakdown, viscosidade final e setback no processo de extrusão em função dos fatores: farinha da cultivar A ou B, percentagem de pó de café e percentagem de umidade.



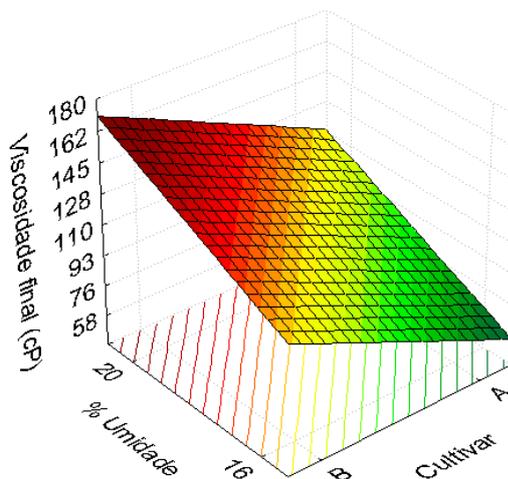
a



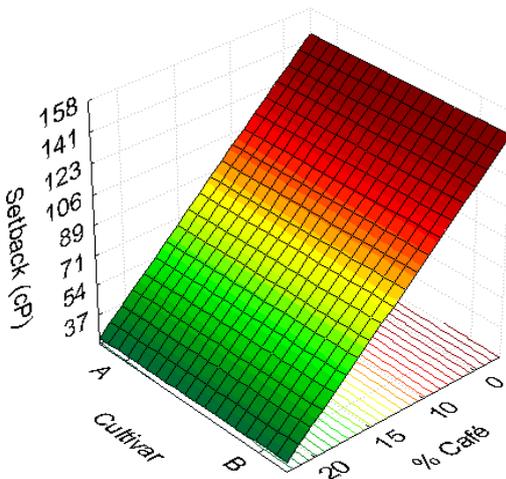
b



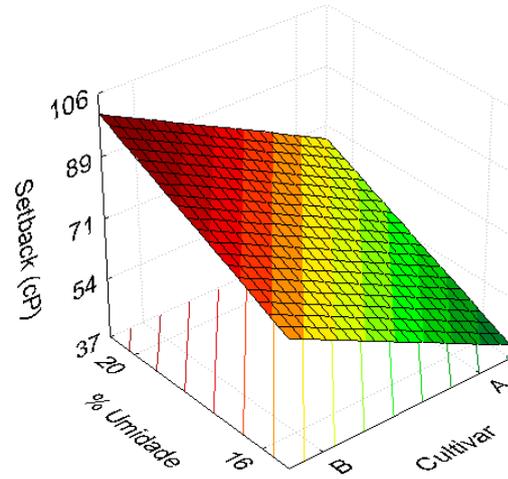
c



d



e



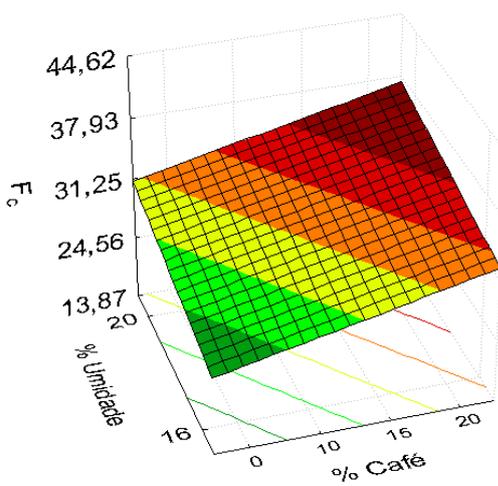
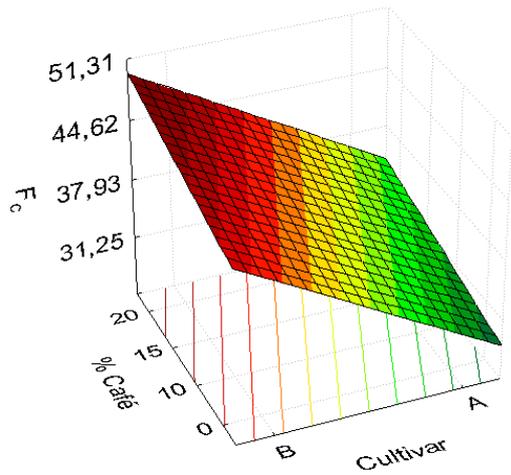
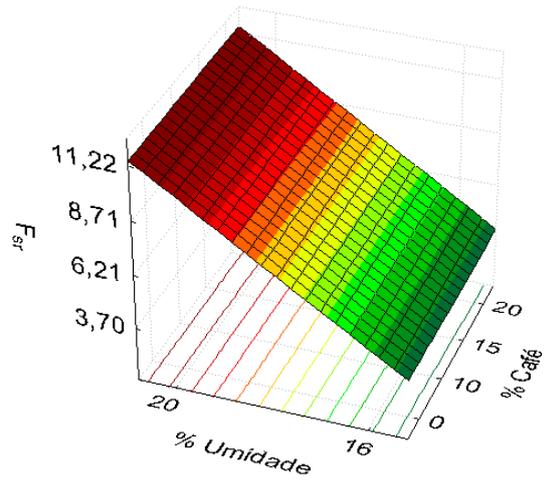
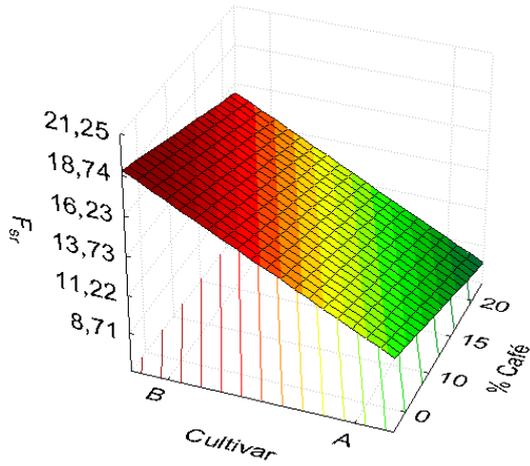
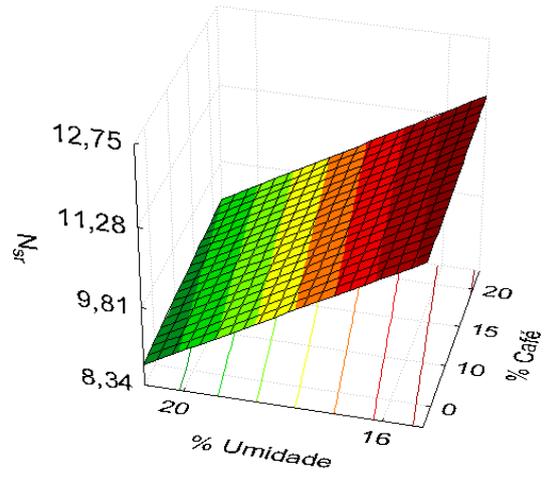
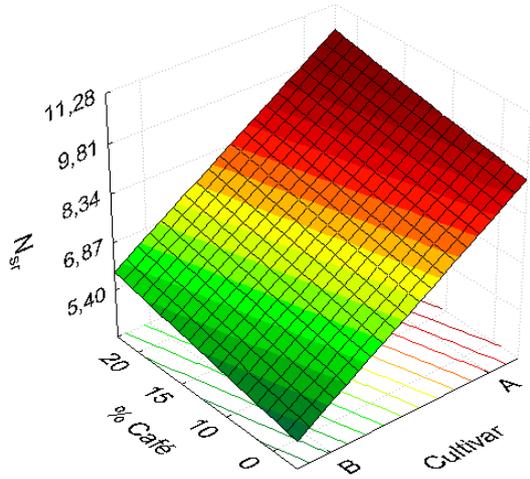
f

Anexo I. Análises de variância para os parâmetros de textura referente ao processo de extrusão de pó de café e duas cultivares de sorgo.

Resposta	Fonte	SQ	Gl	QM	Fcal	Valor-P
Nsr	CU	17,0298	1	17,0298	12,36	0,0005
	CA	115,302	3	38,4341	27,89	0,0000
	UM	471,171	1	471,171	341,97	0,0000
	CU*CA	40,4872	3	13,4957	9,80	0,0000
	CU*UM	149,466	1	149,466	108,48	0,0000
	CA*UM	59,8053	3	19,9351	14,47	0,0000
	CU*CA*UM	91,9525	3	30,6508	22,25	0,0000
	Residuo	418,856	304	1,37781		
	Total	1364,07	319			
Fsr	CU	73,8548	1	73,8548	33,21	0,0000
	CA	142,956	3	47,6521	21,43	0,0000
	UM	1780,73	1	1780,73	800,84	0,0000
	CU*CA	61,3414	3	20,4471	9,20	0,0000
	CU*UM	314,956	1	314,956	141,64	0,0000
	CA*UM	113,965	3	37,9885	17,08	0,0000
	CU*CA*UM	124,939	3	41,6464	18,73	0,0000
	Residuo	675,97	304	2,22359		
	Total	3288,72	319			
Fc	CU	28,0058	1	28,0058	0,84	0,3613
	CA	2469,8	3	823,266	24,57	0,0000
	UM	6003,24	1	6003,24	179,20	0,0000
	CU*CA	1465,69	3	488,562	14,58	0,0000
	CU*UM	3688,01	1	3688,01	110,09	0,0000
	CA*UM	1249,5	3	416,499	12,43	0,0000
	CU*CA*UM	2380,97	3	793,656	23,69	0,0000
	Residuo	10184,2	304	33,5008		
	Total	27469,4	319			
Wc	CU	2,01057	1	2,01057	2,28	0,1320
	CA	68,2976	3	22,7659	25,83	0,0000
	UM	151,948	1	151,948	172,42	0,0000
	CU*CA	37,3318	3	12,4439	14,12	0,0000
	CU*UM	115,242	1	115,242	130,77	0,0000
	CA*UM	40,1509	3	13,3836	15,19	0,0000
	CU*CA*UM	66,6752	3	22,2251	25,22	0,0000
	Residuo	267,905	304	0,881267		
	Total	749,561	319			

CU: cultivar de sorgo; CA: % pó de café na mistura; UM: % umidade; SQ: soma de quadrados; GL: graus de liberdade; QM : quadrado médio; Fcal: valor do teste F, valor de probabilidade considerando um nível de significância de 5%; n=20.

Anexo J. Efeito na frequência de rupturas (N_{sr}), força específica das rupturas (F_{sr}) e força de compressão (F_c) dos extrudados em função dos fatores: farinha da cultivar A ou B, percentagem de pó de café e percentagem de umidade.



Anexo K. Análises de variância para os parâmetros de cor (L*,a*, e b*) da extrusão de pó de café e duas cultivares de sorgo.

Resposta	Fonte	SQ	Gl	QM	Fcal	Valor-P
L*	CU	19,892	1	19,892	35,01	0,0000
	CA	571,21	1	571,21	1005,45	0,0000
	UM	413,699	3	137,9	242,73	0,0000
	CU*CA	3,753	1	3,754	6,61	0,0133
	CU*UM	10,709	3	3,569	6,28	0,0011
	CA*UM	95,868	3	31,956	56,25	0,0000
	CU*CA*UM	9,982	3	3,327	5,86	0,0017
	Residuo	27,269	48	0,568		
Total	1152,38	63				
a*	CU	2,1609	1	2,161	41,79	0,0000
	CA	15,347	1	15,347	296,81	0,0000
	UM	9,627	3	3,209	62,06	0,0000
	CU*CA	0,187	1	0,187	3,62	0,0632
	CU*UM	1,114	3	0,371	7,18	0,0004
	CA*UM	1,635	3	0,545	10,54	0,0000
	CU*CA*UM	0,401	3	0,133	2,58	0,0641
	Residuo	2,482	48	0,052		
Total	32,953	63				
b*	CU	11,114	1	11,114	57,70	0,0000
	CA	27,918	1	27,918	144,94	0,0000
	UM	23,101	3	7,700	39,98	0,0000
	CU*CA	0,679	1	0,679	3,52	0,0666
	CU*UM	9,944	3	3,315	17,21	0,0000
	CA*UM	6,964	3	2,321	12,05	0,0000
	CU*CA*UM	4,318	3	1,439	7,47	0,0003
	Residuo	9,245	48	0,193		
Total	93,282	63				

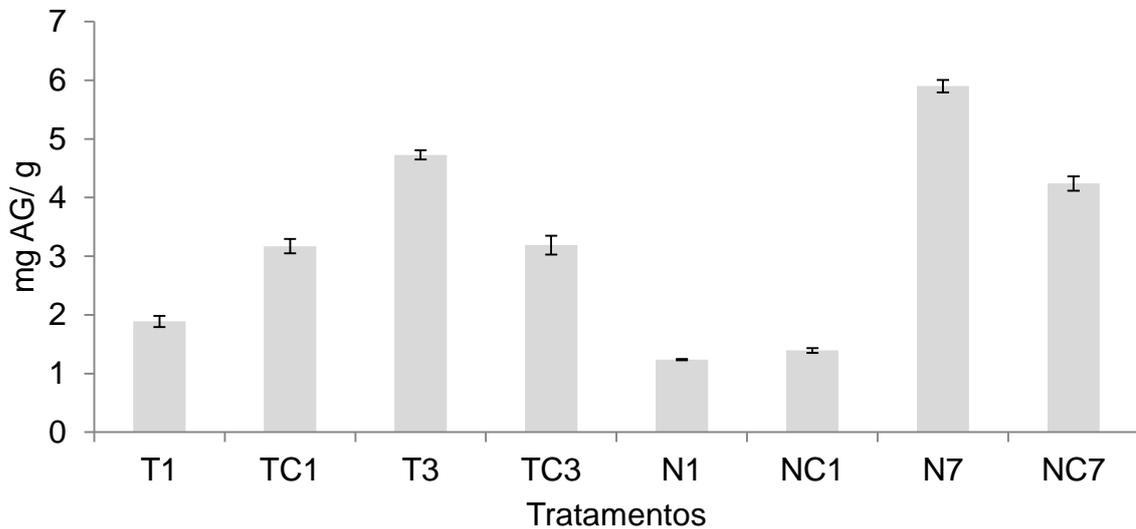
CU: cultivar de sorgo; CA: % pó de café na mistura; UM: % umidade; SQ: soma de quadrados; GL: graus de liberdade; QM : quadrado médio; Fcal: valor do teste F, valor de probabilidade considerando um nível de significância de 5%; n=4.

Anexo L. Análises de variância para os parâmetros de cor (C, h°, e ΔE) da extrusão de pó de café e duas cultivares de sorgo.

Resposta	Fonte	SQ	Gl	QM	Fcal	Valor-P
C	CU	12,8971	1	12,8971	55,73	0,0000
	CA	43,1485	1	43,1485	186,44	0,0000
	UM	30,997	3	10,3323	44,65	0,0000
	CU*CA	0,871889	1	0,871889	3,77	0,0581
	CU*UM	10,1794	3	3,39315	14,66	0,0000
	CA*UM	3,81947	3	1,27316	5,50	0,0025
	CU*CA*UM	4,348	3	1,44933	6,26	0,0011
	Residuo	11,1087	48	0,231432		
Total	117,37	63				
h°	CU	11,0889	1	11,0889	30,68	0,0000
	CA	2,45706	1	2,45706	6,80	0,0121
	UM	47,1155	3	15,7052	43,45	0,0000
	CU*CA	0,0333062	1	0,0333062	0,09	0,7628
	CU*UM	22,5385	3	7,51283	20,78	0,0000
	CA*UM	107,698	3	35,8993	99,31	0,0000
	CU*CA*UM	10,4982	3	3,49939	9,68	0,0000
	Residuo	17,3513	48	0,361486		
Total	218,781	63				
ΔE	CU	10,4976	1	10,4976	25,69	0,0000
	CA	430,355	1	430,355	1053,01	0,0000
	UM	314,68	3	104,893	256,66	0,0000
	CU*CA	1,98106	1	1,98106	4,85	0,0325
	CU*UM	5,46866	3	1,82289	4,46	0,0077
	CA*UM	81,3597	3	27,1199	66,36	0,0000
	CU*CA*UM	6,09806	3	2,03269	4,97	0,0044
	Residuo	19,6171	48	0,408691		
Total	870,057	63				

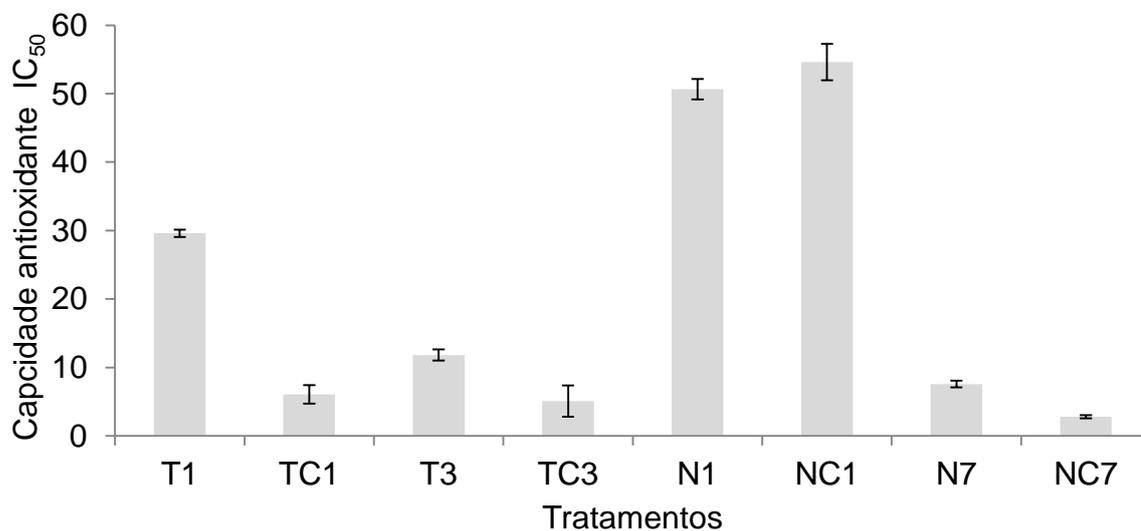
CU: cultivar de sorgo; CA: % pó de café na mistura; UM: % umidade; SQ: soma de quadrados; GL: graus de liberdade; QM : quadrado médio; Fcal: valor do teste F, valor de probabilidade considerando um nível de significância de 5%; n=4.

Anexo M. Compostos fenólicos totais Conteúdo de compostos fenólicos totais (mg AG/g) nos produtos crus e extrudados de misturas de pó de café e farinha de cultivares de sorgo A ou B.



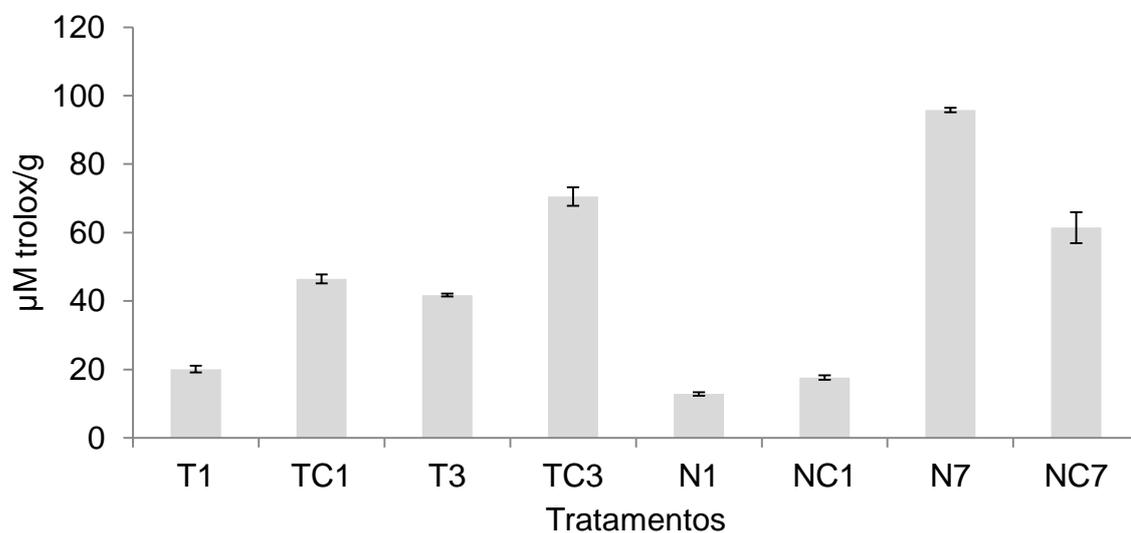
TC1: sorgo da variedade A sem extrudar, NC1: sorgo da variedade B sem extrudar, T1: sorgo da variedade A extrudado, N1: sorgo da variedade B extrudado, TC3: sorgo da variedade A com 10% de pó de café com 16% de umidade sem extrudar, NC7: sorgo da variedade B com 20% de pó de café com 16% de umidade sem extrudar, T3: sorgo da variedade A com 10% de pó de café com 16% de umidade extrudado, N7: sorgo da variedade B com 20% de pó de café com 16% de umidade extrudado, Os dados apresentam a médias \pm DP; n=3.

Anexo N. Capacidade antioxidante frente ao radical DPPH⁺.



TC1: sorgo da variedade A sem extrudar, NC1: sorgo da variedade B sem extrudar, T1: sorgo da variedade A extrudado, N1: sorgo da variedade B extrudado, TC3: sorgo da variedade A com 10% de pó de café com 16% de umidade sem extrudar, NC7: sorgo da variedade B com 20% de pó de café com 16% de umidade sem extrudar, T3: sorgo da variedade A com 10% de pó de café com 16% de umidade extrudado, N7: sorgo da variedade B com 20% de pó de café com 16% de umidade extrudado, Os dados apresentam a médias \pm DP; n=3.

Anexo O. Capacidade antioxidante frente ao radical ABTS⁺.



TC1: sorgo da variedade A sem extrudar, NC1: sorgo da variedade B sem extrudar, T1: sorgo da variedade A extrudado, N1: sorgo da variedade B extrudado, TC3: sorgo da variedade A com 10% de pó de café com 16% de umidade sem extrudar, NC7: sorgo da variedade B com 20% de pó de café com 16% de umidade sem extrudar, T3: sorgo da variedade A com 10% de pó de café com 16% de umidade extrudado, N7: sorgo da variedade B com 20% de pó de café com 16% de umidade extrudado, Os dados apresentam a médias \pm DP; n=3.