

JUDITH PAOLA URÓN SANTIAGO

**AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES VISCOGRÁFICAS
DA FARINHA DE AVEIA IAC7 SUBMETIDA A DIFERENTES
CONDIÇÕES DE EXTRUSÃO E TRATAMENTO ENZIMÁTICO**

Dissertação submetida ao Programa de
Pós-Graduação em Ciência dos
Alimentos da Universidade Federal de
Santa Catarina para a obtenção do
Grau de Mestre em Ciência dos
Alimentos
Orientador: Prof^a. Dr^a.Alicia de
Francisco

Florianópolis, SC
2013

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Urón, Judith Paola

Avaliação das propriedades viscográficas da farinha de aveia IAC7 submetida a diferentes condições de extrusão e tratamento enzimático / Judith Paola Urón ; orientador, Alicia de Francisco - Florianópolis, SC, 2013.
100 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos.

Inclui referências

1. Ciência dos Alimentos. 2. Estudo das propriedades viscográficas de farinha de aveia extrusada. 3. Avaliação de diferentes condições de extrusão. 4. Hidrólise enzimática do amido, beta-glucanas e proteína da aveia. I. , Alicia de Francisco. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos. III. Título.

**AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES VISCOGRÁFICAS
DA FARINHA DE AVEIA IAC7 SUBMETIDA A DIFERENTES
CONDIÇÕES DE EXTRUSÃO E TRATAMENTO ENZIMÁTICO**

Esta Dissertação foi julgado(a) adequado(a) para obtenção do Título de “Mestre”, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos

Florianópolis, 26 de março de 2013.

Prof.^a. Dr.^a. Roseane Fett, Dr.
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof. (a). Dr. (a). Alicia de Francisco
Orientador (UFSC)

Prof. (a). Dr. (a). Valéria Maria Limberger Bayer
Membro (UFSC)

Prof. (a). Dr. (a). Edna Regina Amante
Membro (UFSC)

Prof. (a). Dr. (a). Pedro Luiz Manique Barreto
Membro (UFSC)

Este trabalho é dedicado aos meus
queridos pais

AGRADECIMENTOS

A Deus, por estar sempre presente na minha vida, por me sustentar nos momentos mais difíceis e me ensinar a ter Fe para perseverar neste caminho.

Ao Programa de Pós-Graduação pela oportunidade acadêmica para minha formação.

A CNPq, pela concessão da bolsa.

À minha orientadora, Alicia de Francisco, por me dar a oportunidade profissional, por me permitir formar parte da equipe do laboratório.

Aos professores da Pós-Graduação, especialmente, a professora Edna Amante pelo seu apoio constante e orientação durante a realização das análises, por me acolher no seu laboratório e disponibilizar o uso das instalações e os equipamentos, pela sua participação como membro da banca; ao professor Pedro Manique pela ajuda para a realização deste trabalho e pela participação como membro da banca, à professora Renata Dias de Mello pelas suas valiosas contribuições para o desenvolvimento deste trabalho.

À professora Valéria Limberger, da Universidade Federal de Santa Maria, pela participação na banca e pelas contribuições ao trabalho.

Aos funcionários do Programa de Pós-Graduação, especialmente Sérgio de Souza, pela solidariedade e disposição para ajudar.

Ao pessoal do Laboratório de Ciência e Tecnologia de Cereais do PGCAL, os estagiários: Heloísa, André e Iara pelo apoio nas análises e pela amizade, às colegas: Bruna Mattioni pelo apoio técnico com as análises, Tatiana Ouro e Patrícia Matos pelo companheirismo e parceria e especialmente a Marivone Borges pelo carinho e amizade.

À toda a equipe do Laboratório de Frutas e Hortaliças do PGCAL, por me acolherem e estar sempre solícitos a ajudar.

Ao Thomaz Setti da S.L Alimentos, pela parceria para o desenvolvimento deste trabalho, pelo fornecimento das amostras e pelo apoio durante todo o mestrado. À Raceli, pelo valioso auxílio no envio das amostras, por estar sempre disposta a ajudar.

À Embrapa do Rio de Janeiro, por ceder suas instalações e dispor o pessoal técnico para a extrusão das amostras, em especial à Melícia Galdeano, por suas importantes contribuições para o delineamento experimental do trabalho, pelo tempo, paciência e orientação com o trabalho.

À Pâmela e Geisi, do Laboratório de Biologia Molecular do PGCAL, pelo valioso auxílio com os reagentes para as análises, pela disposição para ajudar.

À Liliana Pila, do Laboratório de Recursos Genéticos Vegetais do RGV pelo apoio com as análises.

À Jenny Corredor e Oscar Santos pela imensa ajuda com a estatística.

À Zamira Delgado, pela sua valiosa amizade, por seu apoio constante no desenvolvimento deste trabalho, pela confiança.

A minha família: meus queridos pais, pelo apoio que me deram para vir estudar no Brasil, por seu amor e carinho, por estarem sempre presentes mesmo na distância, meu irmão “Tito”, por me acolher e me permitir compartilhar esta parte da minha vida com ele, a Juan, meu amor, por me dar força para continuar, por acreditar em mim, por sua valentia e perseverança para construir juntos um novo caminho

A todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho, muito obrigada.

URON, J.P. Avaliação das propriedades viscográficas da farinha de aveia IAC7 submetida a diferentes condições de extrusão e tratamento enzimático. 2013. 100p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos), Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

RESUMO

As propriedades hipocolesterolêmicas e de prevenção de doenças cardiovasculares atribuídas às β -glucanas presentes na aveia, têm motivado o consumo de novos produtos à base deste cereal, tais como aqueles desenvolvidos através da tecnologia de extrusão a quente. Diante da possibilidade de desenvolver novos produtos à base de aveia, a farinha de aveia cultivar IAC7 foi extrusada em extrusora de parafuso duplo *Clextral Evolun HT25* e matriz laminar de 8mm seguindo um delineamento experimental simples 2^2 com 2 repetições no ponto central. Foi avaliado o efeito de duas variáveis independentes: temperatura de extrusão e umidade da matéria prima, mantendo fixa a rotação do parafuso em 300rpm. Como variável resposta, avaliou-se o “parâmetro pico de viscosidade”. Separadamente, os perfis de viscosidade das amostras de farinha de aveia extrusada foram comparados com os perfis da farinha de aveia não extrusada em RVA (*Rapid Visco Analyzer*) avaliando parâmetros como: temperatura de pasta, pico de viscosidade, viscosidade mínima, quebra de viscosidade, viscosidade final e retrogradação. Adicionalmente, foram realizados tratamentos enzimáticos na farinha de aveia não extrusada e em duas das farinhas extrusadas com o objetivo de estudar a influência e contribuição das β -glucanas, do amido e das proteínas presentes na aveia sobre a viscosidade das farinhas. Com relação às variáveis independentes estudadas, foi observado que a umidade teve um efeito significativo no aumento do parâmetro “pico de viscosidade”, enquanto que a temperatura e a sua interação com a umidade não apresentou uma contribuição significativa neste parâmetro. Quanto à comparação dos perfis de viscosidade entre amostras de farinha extrusada e não extrusada, os resultados indicaram que o pico de viscosidade diminuiu significativamente para as amostras de farinhas extrusadas. Os resultados dos tratamentos enzimáticos mostraram que em farinhas não extrusadas, o amido apresentou a maior contribuição na viscosidade em relação às β -glucanas e as proteínas enquanto que nas amostras de farinha extrusada, os efeitos da hidrólise foram diferentes: com a menor

temperatura de extrusão (80°C), o amido mostrou a maior contribuição, pelo contrário, com a maior temperatura (140°C), a maior contribuição foi apresentada pelas β -glucanas. Pode-se concluir que a extrusão e o tratamento enzimático modificam significativamente as propriedades viscosográficas de farinha de aveia e que esta tecnologia pode ser usada para modificar as propriedades de viscosidade dos extrusados como melhoradora da qualidade final dos produtos à base de aveia

Palavras-chave: Aveia. Extrusão. Hidrólise enzimática. Viscosidade. β -glucanas. Amido. Proteína.

URON, J.P. Evaluation of pasting properties of oat cultivar IAC7 under different extrusion conditions and enzymatic treatment. 2013. 100p. Thesis (Master in Food Science), Post Graduation Program in Food Science, Federal University of Santa Catarina, Florianópolis.

ABSTRACT

The hypocholesterolemic and prevention of cardiovascular disease properties attributable to the β -glucans present in oat, have motivated the consumption of new oat-based products, such as those that have been developed with a cooking-extrusion technology. In face of the possibility of developing new oat products, oat flour from cultivar IAC7cultivar was extruded in a twin-screw Clextral Evolun HT25 with a 8 mm-diameter laminar matrix following a simple experimental design 2^2 with 2 repetitions in the center-point. The effect of two independent variables was evaluated: extrusion temperature and raw material moisture, keeping the compression rate constant at 300rpm. As a response variable, the “peak viscosity” parameter was evaluated. Separately, the extruded oat flour viscosity profiles were compared with non extruded oat flour profiles in a RVA (Rapid Visco Analyzer), estimating parameters such as: pasting temperature, peak viscosity, minimum viscosity, breakdown, final viscosity and setback. Thus, enzymatic treatments were accomplished in non extruded oat flour and in two of the extruded oat flours of the initial experimental phase, with the aim of evaluating the contribution of β -glucans, starch and protein present in oat to the flour oat viscosity. In accordance with the independent variables, it was found that the moisture had a significant effect on the increase of the “peak viscosity” parameter, while the temperature and its interaction with moisture did not have a significant contribution to this parameter. As to the comparison of the viscosity profiles among extruded oat flour and non extruded oat flour, the results indicated that the peak viscosity had a significant decrease. The enzymatic treatments results showed that in non extruded flour, the starch exhibited the highest contribution to the viscosity in comparison to the β -glucans and proteins, while in extruded flour, the hydrolysis effects were different: at a lower extrusion temperature (80°C), the starch exhibited the highest contribution. On the contrary, at the highest temperature (140°C), the highest contribution was exhibited by the β -glucans. Therefore, it is possible to conclude that since extrusion and the

enzymatic treatment modify dramatically the oat flour pasting properties, this technology can be used to modify the extruded viscosity properties of oats, using the enzymes as final quality improvers of oat products.

Keywords: Oat. Extrusion. Enzymatic hydrolysis. Viscosity. β -glucan. Starch. Protein.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Seções longitudinal e transversal de um grão de aveia.....	30
Figura 2 – Fluxograma de processamento de aveia.....	33
Figura 3 – Estrutura química das β -1,3 e β -1,4-D-glucanas.....	35
Figura 4 – Estrutura química da amilose e da amilopectina	37
Figura 5 – Esquema de um extrusor com suas partes e zonas.....	42
Figura 6 – Perfil de temperatura utilizado na extrusora Clextral Evolun HT25.....	47
Figura 7 – Efeito da temperatura e umidade no pico de viscosidade de farinhas extrusadas de aveia.....	56
Figura 8 – Perfil de viscosidade das farinhas extrusadas e da farinha não extrusada.....	59
Figura 9 – Perfil de viscosidade antes e depois da hidrólise do amido com α -amilase+amiloglicosidase.....	65
Figura 10 – Perfil de viscosidade das farinhas hidrolisadas depois do tratamento enzimático com α -amilase e amiloglicosidase.....	68
Figura 11 – Perfil de viscosidade antes e depois da hidrólise das β -glucanas com liquenase.....	69
Figura 12 – Perfil de viscosidade das farinhas hidrolisadas depois do tratamento enzimático com liquenase.....	72
Figura 13 – Perfil de viscosidade antes e depois da hidrólise da proteína com protease.....	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Condições de extrusão utilizadas de acordo com o desenho fatorial 2^2 com 2 repetições no ponto central.....	49
Tabela 2 – Condições dos tratamentos enzimáticos enzimática segundo as recomendações da Megazyme.....	51
Tabela 3 – Composição centesimal do cultivar de aveia IAC7.....	54
Tabela 4 – Parâmetros de viscosidade das farinhas de aveia integral extrusadas.....	55
Tabela 5 – Comparação dos parâmetros de viscosidade entre farinhas extrusadas e a farinha não extrusada.....	58
Tabela 6 – Percentagem de eficiência enzimática da hidrólise do amido.....	66
Tabela 7 – Variação do parâmetro “pico de viscosidade” dentro de cada amostra antes e depois da hidrólise do amido.....	67
Tabela 8 – Percentagem de eficiência enzimática da hidrólise das β -glucanas.....	70
Tabela 9 – Variação do parâmetro “pico de viscosidade” dentro de cada amostra antes e depois da hidrólohidrólise das β -glucanas.....	71
Tabela 10– Percentagem de eficiência enzimática da hidrólise das proteínas.....	74
Tabela 11– Variação do parâmetro “pico de viscosidade” dentro de cada amostra antes e depois da hidrólise das β -glucanas.....	75
Tabela 12– Contribuição dos tratamentos enzimáticos na redução da viscosidade.....	76

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AACC – American Association of Cereal Chemist

ANOVA – Análise de variância

BSA – Soro de albumina bovina

CFE2 – Controle da farinha extrusada 2

CFE3 – Controle da farinha extrusada 3

CFNE – Controle da farinha não extrusada

cP – Centipoise

EC – *Enzyme Commission Numbers*

FAO – *Food and Agriculture Organization*

FE1 – Farinha extrusada 1

FE2 – Farinha extrusada 2

FE3 – Farinha extrusada 3

FE4 – Farinha extrusada 4

FE5 – Farinha extrusada 5

FE6 – Farinha extrusada 6

FNE – Farinha não extrusada

FDA – *Food and Drug Administration*

HFE2 – Farinha extrusada 2 hidrolisada

HFE3 – Farinha extrusada 3 hidrolisada

HFNE – Farinha não extrusada hidrolisada

MÊS/TRIS – 2(*N*-morpholino) ethanesulfonic acid/tris(hydroxymethyl) aminomethane

TPV – Tempo do pico de viscosidade

R^2 – Coeficiente de determinação

RT – Retrogradação

RVA – *Rapid Visco Analyzer*

T – Temperatura

Vmin – Viscosidade mínima

VF – Viscosidade final

QV – Quebra de viscosidade

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	25
1.1 OBJETIVOS.....	27
1.1.1 Objetivo Geral.....	27
1.1.2 Objetivos Específicos.....	27
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	29
2.1 AVEIA.....	29
2.1.1 Características taxonômicas e produção.....	29
2.1.2 Características nutricionais da aveia.....	31
2.1.3 Processamento da aveia.....	32
2.2 FIBRAS ALIMENTARES.....	34
2.2.1 β-glucanas.....	35
2.3 AMIDO.....	36
2.3.1 Hidrólise enzimática.....	39
2.3.1.1 α -amilase.....	39
2.3.1.2 Amiloglicosidase.....	40
2.3.1.3 Liquenase.....	40
2.3.1.4 Protease.....	40
2.4 EXTRUSÃO.....	41
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	45
3.1 OBTENÇÃO DAS AMOSTRAS.....	45
3.2 CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS.....	45
3.3 AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS DE VISCOSIDADE DA FARINHA INTEGRAL DE AVEIA.....	45
3.4 EXTRUSÃO DA FARINHA INTEGRAL DE AVEIA E AVALIAÇÃO DA VISCOSIDADE.....	46
3.5 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	47
3.6 HIDRÓLISE ENZIMÁTICA DO AMIDO, DAS β -GLUCANAS E DA PROTEÍNA DAS FARINHAS DE AVEIA.....	49
3.7 AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DOS TRATAMENTOS ENZIMÁTICOS.....	51
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	53
4.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA.....	53
4.2 EFEITO DAS VARIÁVEIS DE EXTRUSÃO (TEMPERATURA E UMIDADE) SOBRE O PARÂMETRO PICO DE VISCOSIDADE DAS AMOSTRAS EXTRUSADAS.....	55
4.3 COMPARAÇÃO DAS PROPRIEDADES VISCOGRÁFICAS ENTRE FARINHAS EXTRUSADAS E A FARINHA NÃO EXTRUSADA.....	57

4.3.1	Temperatura de formação de pasta.....	60
4.3.2	Pico de viscosidade.....	60
4.3.3	Tempo do pico de viscosidade.....	61
4.3.4	Viscosidade mínima.....	61
4.3.5	Quebra de viscosidade.....	62
4.3.6	Viscosidade Final.....	62
4.3.7	Retrogradação.....	63
4.4	EFEITO DA HIDRÓLISE ENZIMÁTICA NAS PROPRIEDADES VISCOGRÁFICAS DAS FARINHAS.....	64
4.4.1	Hidrólise do amido com α -amilase e amiloglicosidase.....	64
4.4.2	Hidrólise das β -glucanas com liquenase.....	68
4.4.3	Hidrólise das proteínas com protease.....	72
4.5	CONTRIBUIÇÃO DOS TRATAMENTOS ENZIMÁTICOS NA REDUÇÃO DA VISCOSIDADE.....	75
5	CONCLUSÕES.....	79
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	80
	REFERÊNCIAS.....	83
	ANEXO A- Curva padrão de proteína pelo métodos de Bradford..	95
	ANEXO B- Comparação das propriedades viscográficas antes e depois das hidrólises dentro de cada amostra de farinha.....	98

1 INTRODUÇÃO

Os cereais são produzidos em grande quantidade ao redor do mundo constituindo a principal fonte calórica para o ser humano e sendo em alguns países em desenvolvimento a maior parte de dieta da população. Entre os cereais, a aveia, junto com o trigo, o milho, o arroz, a cevada, o centeio e o sorgo, são considerados importantes na alimentação humana e animal (CRUZ, KLOBITZ, 2011). Em comparação com outros cereais, a aveia é considerada nutritivamente superior, devido a sua composição equilibrada de aminoácidos e o alto teor de proteínas e lipídeos (HOSENEY, 1991). Seu consumo está relacionado à prevenção de doenças cardiovasculares e às propriedades hipocolesterolêmicas, sendo incluída em novas e diversas formulações comerciais, ganhando um espaço importante no mercado mundial (CRIVARO et al., 2006). Essas propriedades são atribuídas principalmente às respostas fisiológicas das β -glucanas, polímeros encontrados na parede celular da aveia que fazem parte da fibra dietética solúvel (DAVIDSON et al., 1991). As β -glucanas são solúveis em água e bases diluídas, com tendência a formar soluções viscosas e géis. Sua solubilidade e viscosidade são dependentes da sua massa e estrutura molecular. Devido às suas propriedades funcionais, podem ser incluídas em alimentos para o auxílio de hipercolesterolemia e utilizadas na indústria como espessantes em alimentos (de FRANCISCO; de SÁ, 2001). Suas propriedades físico-químicas podem ser afetadas pelo processamento influenciando a viscosidade dos alimentos ricos em β -glucanas, característica importante para a aceitação dos produtos pelos consumidores (ANTTILA et al., 2004; ZHOU et al. 2000). Os produtos existentes no mercado à base de aveia apresentam na sua rotulagem informação relativa aos benefícios fisiológicos das β -glucanas, chamando a atenção para importância dos alimentos que contêm fibras (de FRANCISCO; de SÁ, 2001). O crescente interesse pelo seu consumo tem levado a incluir as β -glucanas em uma ampla gama de produtos, entre eles, os produzidos através da tecnologia da extrusão a quente (YAO et al., 2011).

A tecnologia da extrusão foi desenvolvida em 1940, e desde então, tem se aperfeiçoado para produzir uma grande variedade de produtos como bolachas, snacks, cereais prontos para consumo e proteína vegetal texturizada. Os cereais são considerados adequados para o processo de extrusão, já que pelo alto teor de amido, têm boas propriedades de expansão, característica importante neste tipo de

produtos (NAVARRETE et al., 2006). Por ser um processo versátil, a extrusão permite a obtenção de produtos com alta qualidade e excelentes características microbiológicas e físicas, sendo uma alternativa de alta produtividade e baixos custos de produção (KATZ, 1994). No processo de extrusão, o alimento é aquecido até seu ponto de fusão e submetido a altas pressões que produzem sua expansão. Este processo produz diversas mudanças físicas e químicas, que geram produtos com características diferentes às das matérias primas usadas, sendo útil para modificar a textura e forma dos alimentos, permitindo diversificar os produtos tradicionais já existentes no mercado (PEREDA et al., 2007; MOSCICKI, L; ZUILICHEM, D, 2011). As temperaturas usadas na extrusão provocam a gelatinização do amido presente nos cereais o que influencia fortemente as propriedades viscosográficas dos extrusados. O estudo dessas propriedades permite a definição do grau de cozimento do produto extrusado e a avaliação do comportamento do amido em meio aquoso fazendo uso de diferentes temperaturas durante o processo (TEBA, 2009).

Devido à importância de ter um controle sobre as características finais dos produtos extrusados à base de cereais, muitos estudos têm focado seu interesse em avaliar o efeito dos parâmetros de extrusão nas propriedades de pasta de diferentes matérias primas (KARAM, 2001; DO NASCIMENTO, 2007; MADEIRA, 2007; YAO et al., 2011). No caso da aveia, as propriedades de pasta têm sido estudadas na sua maioria em farinhas sem extrusar, encontrando que a viscosidade é afetada principalmente por três componentes presentes na aveia: as β -glucanas, o amido e a proteína (LIU et al., 2010). Porém, em farinhas de aveia extrusadas, o estudo sobre o efeito desses componentes na viscosidade ainda é insuficiente. Diante da possibilidade de desenvolver futuros produtos extrusados à base de aveia, este trabalho visa avaliar a contribuição do amido, das β -glucanas, e da proteína sobre as propriedades viscosográficas em farinhas extrusadas de aveia.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Estudar as propriedades viscográficas da farinha de aveia IAC7 extrusada sob diferentes condições de extrusão e submetida a hidrólise enzimática do amido, das β -glucanas e da proteína

1.1.2 Objetivos Específicos

- Realizar a caracterização físico-química da farinha de aveia (*Avena Sativa* L.) IAC7;
- Estudar as características viscográficas da farinha integral de aveia;
- Analisar o efeito das condições de extrusão sobre viscosidade das farinhas;
- Observar as diferenças entre as propriedades viscográficas de farinhas de aveia extrusadas e não extrusadas;
- Estudar as contribuições do amido, das β -glucanas e da proteína sobre os parâmetros de viscosidade através da hidrólise desses componentes nas farinhas de aveia extrusadas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 AVEIA

2.1.1. Características taxonômicas e produção

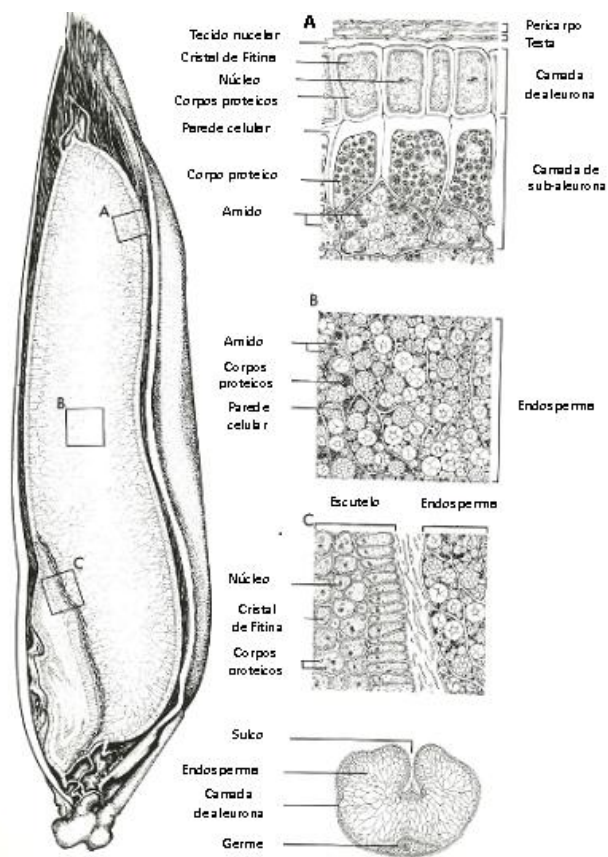
A aveia (*Avena sativa* L) pertence á família Gramineae, uma das maiores famílias de Angiospermas de muita importância econômica para o homem devido a seus múltiplos usos (AMARAL et al., 2010; SOUZA; LORENZI, 2008). Além de serem fonte de alimento, as gramíneas são utilizadas para alimentação de gado, controle da erosão, produção de grama, e fonte de açúcares para a fermentação de bebidas alcoólicas (JUDD et al., 2009). Dentro das possibilidades de uso da aveia, encontra-se a forragem, cobertura de solo e adubação verde, assim como a produção de grãos para alimentação humana e animal, característica que a diferencia de outras espécies como a Aveia preta (*Avena strigosa*), que apresenta uma produção de grãos reduzida e baixa qualidade industrial devido à coloração escura, menor tamanho e baixo rendimento (SÁ, 1995).

Segundo a Comissão Brasileira de Pesquisa de Aveia (2006), da produção mundial de aveia, 20% é destinado à alimentação humana e no Brasil, anualmente são processadas grandes quantidades de aveia para elaborar alimentos que ascendem a mais de 150 produtos derivados, respondendo ao aumento de consumo de produtos a base deste cereal. Segundo Floss (2005) o Brasil passou a ser o 12º maior produtor de aveia do mundo, devido à safra de 2006, na qual a produção nacional foi de 516.000 toneladas em 356 mil hectares. No país, a produção de aveia está concentrada principalmente em oito estados do sul do país (Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Rio de Janeiro e Espírito Santo) em locais onde temperaturas entre 20 a 25°C favorecem seu desenvolvimento vegetativo (SÁ, 1995).

O grão de aveia (*Avena sativa* L.) é um fruto seco ou cariopse coberto pela casca fortemente aderida à semente que se divide morfológicamente em três partes: pericarpo, endosperma e germe (Figura 1) (DELCOUR; HOSENEY, 2010). O pericarpo é a camada mais externa do grão descascado e está formado aproximadamente por 6 % de proteína, 2 % de cinzas, 20 % de celulose e 0,5 % de gordura (HOSENEY, 1991). O endosperma é a parte interna do grão aderida ao pericarpo e está composto pela camada de aleurona e pelo endosperma

amiláceo. A camada de aleurona na aveia é múltipla e envolve o grão por completo. Botanicamente a aleurona é a camada mais externa do endospermo, mas como durante o processamento permanece junto ao pericarpo, funcionalmente é considerada parte do farelo. Este é constituído pelas camadas do pericarpo, testa e aleurona (DELCOUR; HOSENEY, 2010).

Figura 1 – Seções longitudinal e transversal de um grão de aveia: A, B e C correspondem a seções do farelo, endosperma e germe respectivamente.



Fonte: Fulcher (1980).

2.1.2 Características nutricionais da aveia

A aveia destaca-se entre os cereais por seu teor e qualidade proteica que varia de 12,40 a 24,50 % no grão descascado. O valor proteico da aveia reside em grande parte, na composição equilibrada que apresentam seus aminoácidos (HOSENEY, 1991). A aveia é considerada única, já que 80 % dos seus lipídeos se encontram no endosperma, além do germe e do farelo (DELCOUR; HOSENEY, 2010). Seus lipídeos, com valores de 5 a 9 % na maioria das variedades, se caracterizam também por terem mais ácido oleico do que a maioria dos outros cereais (HOSENEY, 1991) e são maiores do que os teores reportados para o trigo (2,1 a 3,8 %), arroz (1,8 a 2,5 %), milho (3,9 a 5,8 %), cevada (3,3 a 4,6 %) e centeio (2,0 a 3,5) (MORRISON, 1978 apud PEDÓ, 2000).

Por possuir compostos fenólicos, principalmente ésteres do ácido cafeico e ferúlico, a aveia é conhecida por suas propriedades antioxidantes. A vitamina E, presente na aveia, atua também como antioxidante impedindo a oxidação dos ácidos graxos insaturados. Além da vitamina E, a aveia apresenta altos teores de tiamina (vitamina B1), outras vitaminas do complexo B, como a riboflavina (vitamina B2) e a niacina (vitamina B3) (FLOSS, 2005). A aveia contém igualmente grande quantidade de carboidratos de alta digestibilidade (SCHRICKEL, 1986), com teores que variam em torno de 60,4 a 71,3 %, (LIBARDONI, 2001). Quanto ao conteúdo de fibras alimentares, a aveia tem uma alta proporção (cerca de 50%) de fibras solúveis constituídas de β -glucanas que são importantes do ponto de vista fisiológico (FLOSS, 2005).

Estudos sobre os benefícios das β -glucanas na saúde demonstram que um consumo diário de 3 g ou mais destas fibras presentes na aveia pode ajudar a reduzir os riscos de doenças cardiovasculares (de FRANCISCO; de SÁ, 2000). Baseada nesses resultados, a *Food and Drug Administration* (FDA) dos Estados Unidos em 1997, autorizou que os produtos a base de aveia tivessem na rotulagem informação sobre suas propriedades hipocolesterolêmicas, o que foi autorizado também no Brasil pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) (BRASIL, 2008). Portanto, os produtos de aveia têm um papel importante nos programas alimentares que visam diminuir o colesterol sanguíneo (BRAATEN et al., 1994).

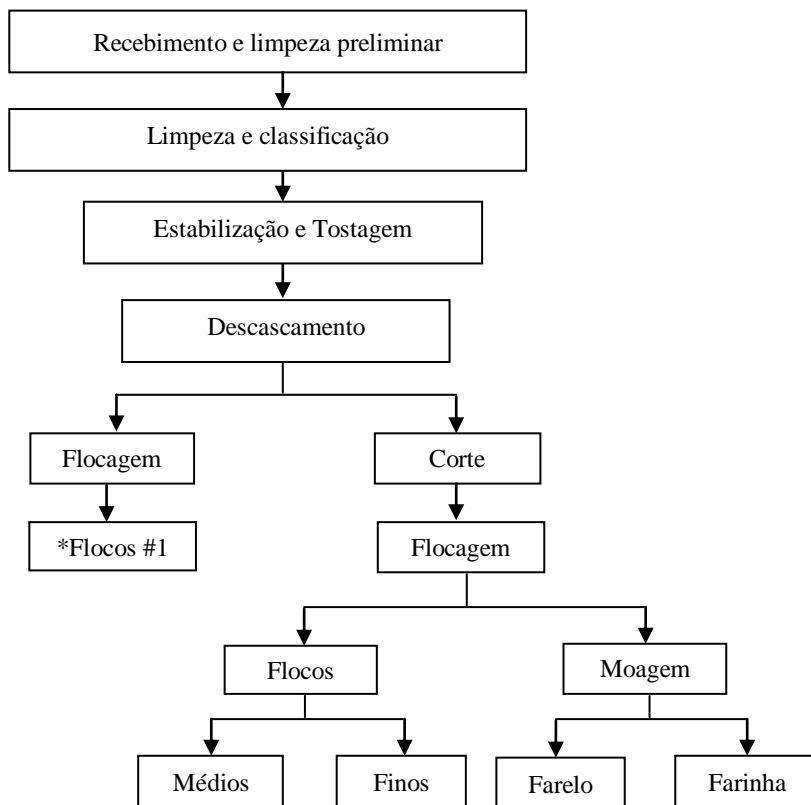
2.1.3 Processamento da aveia

Devido às características particulares da aveia, ela é processada industrialmente para a elaboração de alimentos de consumo humano (FLOSS, 2005). Em termos gerais é processada de acordo com a Figura 2 (de SÁ et al., 1998). A limpeza é realizada com o objetivo de retirar impurezas, sementes estranhas e outras partículas antes da moagem. Após a limpeza, a aveia passa por um tratamento térmico com vapor durante 1 hora atingindo temperaturas de até 93°C, perdendo entre 3 e 4 % de umidade. O tratamento térmico causa mudanças desejáveis no sabor da aveia (sabor suave e torrado), torna a casca mais frágil e fácil de ser retirada e inativa as enzimas lipases cuja ação produz rancidez oxidativa. Tendo em conta que a aveia tem altos teores de lipídeos, a desnaturação das lipases é fundamental para a conservação dos produtos elaborados à base de aveia (HOSENEY, 1991)

Após o tratamento térmico, a aveia é classificada por tamanho em um separador de discos e depois descascada em um descascador de impacto. Os produtos do processamento da aveia são: flocos de aveia, casca (25 % da aveia) utilizada como ingrediente rico em fibra para forragem e farinha de aveia utilizada em alimentação infantil e cereais matinais (HOSENEY, 1991). Estes diferentes tratamentos (estabilização, tostagem, corte e flocagem) não alteram o teor de β -glucanas nos produtos finais obtidos (de SÁ et al., 1998).

O fato de a aveia ser consumida como grão evita que as vitaminas e minerais que se encontram em sua maioria no farelo e no germe sejam perdidos durante o processamento e sejam aproveitados pelo consumidor (WEBSTER, 1986).

Figura 2 – Fluxograma de processamento de aveia.



*Flocos #1:flocos inteiros

Fonte: De Francisco et al., (2000).

2.2 FIBRAS ALIMENTARES

O Ministério da Saúde do Brasil, na portaria No. 41 de 14 de janeiro de 1998 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária define fibras alimentares como:

“Fibra alimentar é qualquer material comestível de origem vegetal que não seja hidrolisado pelas enzimas endógenas do trato digestivo humano, determinado segundo o método 985.29 da AOAC 15^a ed. 1990 (método enzimático-gravimétrico) ou edição mais atual” (BRASIL, 1998).

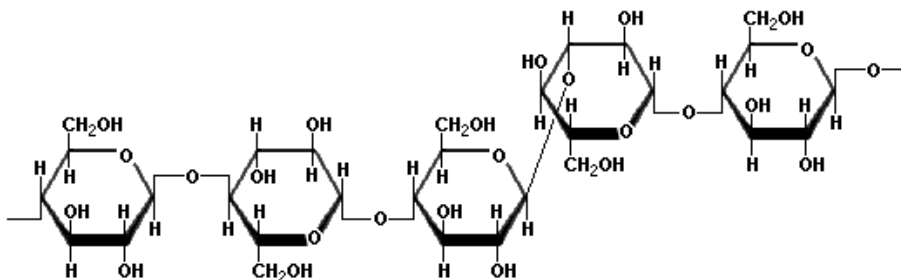
A fibra alimentar é constituída por diferentes tipos de polissacarídeos (com exceção da lignina) com propriedades e características específicas. Pode ser encontrada em alimentos de origem vegetal como cereais, leguminosas, frutas, verduras, nozes e sementes de oleaginosas (PAK, 2001) e seu consumo está associado com a diminuição da ocorrência de doenças cardiovasculares, diabetes, hipertensão, obesidade, algumas patologias gastrointestinais e alguns tipos de câncer (WOOD, 1993).

A fibra alimentar pode ser classificada como solúvel e insolúvel de acordo com seu comportamento em meio aquoso. A solúvel inclui pectinas, gomas e hemicelulosas, enquanto que a insolúvel inclui celulosa e ligninas (BERMÚDEZ, 2001). Dependendo da relação de fibras solúveis e insolúveis em um alimento, será a função que elas terão no organismo, tais como arrastar substâncias nocivas, incrementar o bolo fecal e auxiliar na diminuição da glicose sanguínea (ZARAGOZA et al., 2001). A fibra alimentar insolúvel tem a capacidade de acelerar os movimentos peristálticos no intestino provocando a diminuição do tempo de permanência do bolo fecal no sistema digestivo. Este tipo de fibras arrastam as gorduras prejudiciais à saúde (FLOSS, 2005). De outro lado, a fibra alimentar solúvel tem a capacidade de reduzir os níveis de colesterol total e de LDL (lipoproteínas de baixa densidade) em indivíduos hipercolesterolêmicos sem afetar os níveis de HDL (lipoproteínas de alta densidade) (BRAATEN et al., 1994). As principais fibras solúveis da aveia são as β -glucanas, cujo consumo reduz a resposta insulínica e os níveis de glicose no sangue após as refeições, fato relacionado com a viscosidade das mesmas em contato com a água (FENNEMA, 2010).

2.2.1 β -glucanas

As β -glucanas são polissacarídeos não ramificados compostos de ligações glicosídicas β -1,3 e β -1,4 (Figura 3) presentes no endosperma da aveia e cevada (ANDERSON; BRIDGES, 1993). As concentrações de β -glucanas encontradas na aveia e cevada são maiores do que nos outros grãos (MARLETT, 1993). Miller e colaboradores (1993) encontraram que na aveia, o teor de β -glucanas pode variar dependendo do cultivar, porém, está influenciado mais por fatores genéticos do que ambientais. Em um estudo realizado para isolar o endosperma de várias cultivares de aveia, foi encontrado que o teor de β -glucanas isoladas das paredes celulares do endosperma da aveia (70 a 75 %) era maior do que o teor reportado para a cevada (MILLER et al., 1995).

Figura 3 – Estrutura química das β -1,3 e β -1,4-D-glucanas



Fonte: Zamora (2013).

As β -glucanas produzem soluções altamente viscosas e géis, devido à sua estrutura e massa molecular. Geralmente, exibem características pseudoplásticas similares a outros polímeros como a celulose (WOOD, 1986; WOOD et al., 1991). Sua viscosidade em soluções pode ter uma diminuição temporária com o aumento da temperatura, mas é recuperada com o resfriamento (WOOD et al., 1991). Sob baixas concentrações, a viscosidade de soluções de β -

glucanas de aveia é sensível à concentração e a taxa de cisalhamento (WOOD, 1993). Wikström e colaboradores (1994 apud de SÁ et al., 1998) estudaram as propriedades reológicas de β -glucanas isoladas de diferentes frações de aveia. Eles compararam as β -glucanas do farelo (principalmente as da camada aleurona e sub-aleurona) e do endosperma, encontrando que as β -glucanas do farelo produzem soluções mais viscosas e apresentam maior concentração de proteínas e outros carboidratos do que o as soluções de β -glucanas do endosperma .

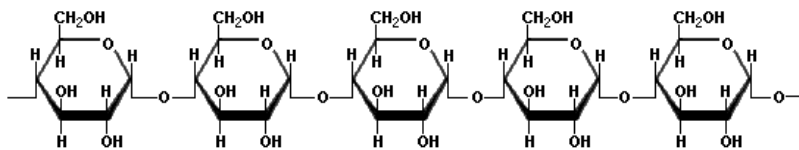
As características reológicas das β -glucanas representam uma vantagem na indústria alimentar, já que podem ser usadas para manipular a estrutura e textura de alimentos otimizando seu processamento (BRENNAN; LOUISE, 2005). Tudorica e colaboradores (2004) reportaram o uso das β -glucanas em formulações lácteas como substitutos da gordura para obter produtos com aparência similar as dos produtos lácteos integrais. Segundo os mesmos autores, o fato de manipular as interações proteína-gordura- β -glucanas faz com que seja possível controlar a estrutura e, portanto, a textura e as propriedades reológicas de produtos lácteos.

Quanto à quantificação de β -glucanas, é importante considerar que os extratos de aveia, além de β -glucanas apresentam outros polissacarídeos como o amido (WOOD, 1986). Quantidades significativas do amido em soluções de aveia, podem dificultar a quantificação exata do teor de β .glucanas (MILLER et al., 1995).

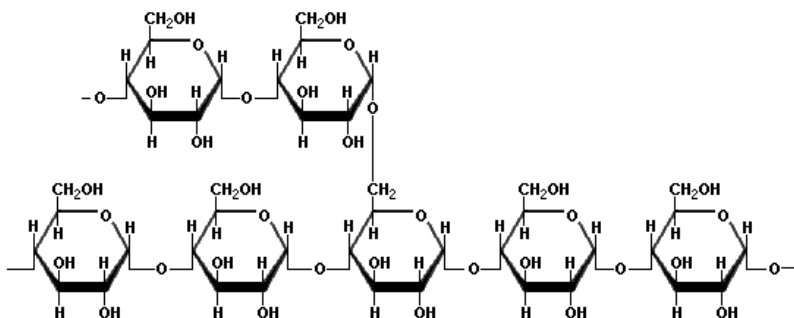
2.3 AMIDO

O amido é um polissacarídeo constituído de centenas ou milhares de unidades de glicose (KLOBITZ, 2008). Sua composição varia em relação às proporções dos dois polissacarídeos que o compõem: amilose e amilopectina; em geral, a amilose corresponde a 20 a 35% do amido, enquanto que a amilopectina varia de 80 a 65% (KLOBITZ; CRUZ, 2011). A amilose é um polímero linear, formado por unidades de glicose ligadas entre si por ligações glicosídicas α -1,4 enquanto que a amilopectina é um polímero ramificado formado por cadeias de glicose semelhantes á amilose, que são unidas entre si por ligações do tipo α -1,6 (Figura 4) (KLOBITZ, 2008).

Figura 4 – Estrutura química da amilose e da amilopectina



Ligações glicosídicas do tipo α -1,4 da amilose



Ramificação da amilopectina via ligação do tipo α -1,6

Fonte: Zamora (2013).

O amido é o carboidrato mais abundante nos cereais, correspondendo a cerca de 60 a 70% da massa seca do grão e encontra-se armazenado na forma de grânulos nas células do endosperma amiláceo (CRUZ; KOBLITZ, 2011). O conteúdo de amido na aveia é de 45% no grão e de 70% no endosperma (CARVALHO; NAKAGAWA, 2000). Os grânulos do amido de aveia são compostos (constituído por muitos grânulos pequenos e individuais): os grânulos grandes esféricos de 20 μm e os pequenos são poliédricos de 3 a 10 μm (HOSENEY, 1991). Os grânulos de amido são relativamente densos e insolúveis

apresentando pouca capacidade de hidratação em água fria. Porém, quando são submetidos á ação do calor, são capazes de formar soluções viscosas (FENNEMA, 2010). A viscosidade produzida pela absorção de água provoca o inchamento dos grânulos do amido ocorrendo a sua gelatinização. Na aveia esse fenômeno ocorre a temperaturas entre 53 e 59°C. Este processo causa a perda da birrefringência, ou seja, o alto grau de organização das moléculas do amido visualizado como uma cruz de malta quando observado sob luz polarizada (HOSENEY, 1991). O aquecimento prolongado dos grânulos de amido em excesso de água produz um maior inchamento dos grânulos, provocando a lixiviação de componentes solúveis, principalmente amilose. Como resultado, é formada uma pasta de amido. Este fenômeno somado às forças de cisalhamento pode ocasionar a ruptura total dos grânulos (FENNEMA, 2010). Tanto a amilose quanto a amilopectina influenciam fortemente nas propriedades sensoriais e reológicas dos alimentos pelas propriedades de hidratação e gelatinização (DERGAL, 1990). Na aveia, as propriedades físicas e funcionais do amido podem ser influenciadas pelo clima, condições agronômicas e pelo controle genético. Filmes obtidos a partir de amido de aveia são mais estáveis às condições ambientais devido ao maior teor de lipídeos em comparação com amidos de outras fontes (GALDEANO, 2007). Com o esfriamento da pasta de amido, as ligações de hidrogênio tornam-se mais fortes resultando em uma pasta de consistência firme (HOSENEY, 1991). As cadeias do amido se reassociam em uma estrutura organizada voltando a sua estrutura cristalina, processo chamado de retrogradação (THOMAS; ATWELL, 1999)

A partir do amido, podem se obter derivados como a glicose, dextrinas e amidos modificados, amplamente usados na indústria de alimentos (DERGAL, 1990); por isso, as mudanças que sofre o amido durante seu processamento são importantes no desenvolvimento de alimentos (SVIHUS et al., 2005). Em comparação com o amido nativo, o modificado apresenta maior estabilidade durante o processamento (HOSENEY, 1991). Por ser de baixo custo e pela facilidade de submetê-lo a modificações químicas, o amido é tecnologicamente muito versátil, tendo inúmeras aplicações não só na indústria de alimentos, mas também em outras indústrias como a cosmética, farmacêutica, de tinta, brinquedos infantis, colas, adesivos e embalagens (CLERICI, 2012). As propriedades de pasta de amido de aveia em comparação a outros tipos de amido têm sido objeto de estudo para alguns autores. Zhou e colaboradores (1998) avaliaram as propriedades de pasta de amido de

aveia com o intuito de aproveitar suas características no desenvolvimento de novos produtos (ZHOU et al., 1998). Daniel (2006) reportou o emprego de fibras de amido modificado de aveia para sua utilização em produtos cárneos. Quanto às propriedades gelificantes do amido, Mali e colaboradores (2010), por exemplo, relatam a produção de filmes biodegradáveis à base de amido como alternativa de embalagem para frutas e hortaliças.

2.3.1 Hidrólise enzimática

As enzimas são moléculas proteicas constituídas por longas cadeias de aminoácidos capazes de catalisar reações químicas específicas (MADIGAN et al., 1998). Entre as diferentes enzimas, as hidrolases são as mais utilizadas sendo empregadas industrialmente para degradar proteínas, carboidratos e lipídeos, em formulações de detergentes e na indústria de alimentos (PINHEIRO, 2011). Na produção de bebidas fermentadas, por exemplo, as amilases são empregadas para hidrolisar o amido a glicose e maltose, processo chamado de sacarificação (KLOBITZ, 2011). Já, na elaboração de cerveja, são utilizadas proteases para hidrolisar os peptídeos produzidos durante a maturação da bebida evitando a turvação da cerveja. Da mesma forma, hidrolisados proteicos são empregados como ingredientes de alimentos como o fim de alterar a textura, emulsificar, produzir espuma o aumentar o valor nutricional (DOS SANTOS; KLOBITZ, 2011).

2.3.1.1 α -amilase

A α -amilase (EC 3.2.1.1) é uma endo-carboidrase capaz de hidrolisar ligações glicosídicas α -1,4, existentes na amilose e na amilopectina de forma aleatória. As α -amilases são produzidas por animais, vegetais e microorganismos; as mais aplicadas em processos na indústria de alimentos são obtidas a partir de bactérias do gênero *Bacillus* (*B. licheniformis* e *B. subtilis*) e aquelas produzidas por fungos, do gênero *Aspergillus* (*A. oryzae* e *A. niger*). (KOBLOITZ, 2008). Sendo endoenzimas, as α -amilases agem aleatoriamente na porção central da molécula, gerando uma mistura de oligossacarídeos de diferente massa molecular conhecida como dextrina ou maltodextrina. Sua ação reduz rapidamente a massa molecular dos polímeros do amido diminuindo a viscosidade das suspensões do amido (CRUZ, KLOBITZ, 2011).

2.3.1.2 Amiloglicosidase

A amiloglicosidase (EC 3.2.1.3.) é uma exoenzima que remove unidades de glicose a partir da extremidade não-redutora das cadeias de amilose e amilopectina, sendo capaz de romper tanto ligações α -1,4, quanto ligações α -1,6 e α -1,3, tendo mais afinidade pelas ligações α -1,4. A amiloglicosidase é usada em conjunto com a α -amilase para conseguir a conversão completa do amido em glicose. As amiloglicosidasas são produzidas basicamente por microorganismos, especialmente por fungos dos gêneros *Aspergillus* e *Rhizopus*, apresentando atividade ótima em pH de 4,0 a 5,0 e temperaturas de 50 a 60°C (KOBELITZ, 2008).

2.3.1.3 Liquenase

A liquenase é uma endo glucanohidrolase (EC 3.2.1.73) capaz de hidrolisar ligações β -1,3-1,4 liberando oligossacarídeos de diferente grau de polimerização (MEGAZYME INTERNATIONAL IRELAND LIMITED, 2003). Os oligossacarídeos liberados são principalmente unidades 3-O- β -cellotriosyl e 3-O- β -cellotriosyl-D-glicose (BRUMMER, CUI, 2005).

2.3.1.4 Protease

A protease (EC 3.4) é uma hidrolase que catalisa a reação de hidrólise das ligações peptídicas das proteínas e podem atuar nas extremidades da cadeia polipeptídica (exopeptidasas) ou nas ligações no interior da cadeia polipeptídica (endopeptidasas). A ação das proteases sobre as proteínas de um alimento pode formar compostos responsáveis por aroma e textura específicos, a alteração da funcionalidade das proteínas e a formação de peptídeos que apresentam atividade biológica. A posição da ligação na cadeia polipeptídica e o tamanho da cadeia podem influenciar a atividade das proteases (DOS SANTOS; KOBELITZ, 2008).

2.4 EXTRUSÃO

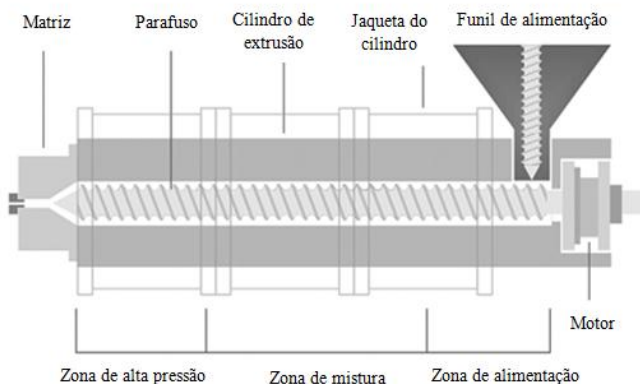
A extrusão se define como um processo contínuo onde o alimento é homogeneizado com água e forçado a passar através de um cilindro que o aquece até seu ponto de fusão. O efeito combinado da temperatura e da pressão produz a expansão do alimento e uma perda de água por evaporação gerando um produto rígido ou semirrígido (BRENNAN et al., 1998). A extrusão faz uso de várias operações unitárias como transporte, amassamento, cocção e moldagem visando a obtenção de alimentos de forma e texturas diferentes como snacks, farinhas pré-gelatinizadas e cereais pré-cozidos (PEREDA et al., 2007; BORBA et al., 2005). A qualidade final e as propriedades dos produtos obtidos através da extrusão são influenciadas por aspectos como transferência de calor e de massa e tempo de residência e distribuição do produto no equipamento (MOSCICKI; ZUILICHEM, 2011). Dentro das vantagens da extrusão podemos mencionar que é um processo ágil e eficiente, mais econômico e produtivo do que outros processos e, além disso, não gera efluentes (FELLOWS, 1994).

Os extrusores encontram-se classificados como equipamentos HTST (*high temperature short time*) que usam altas pressões. Os alimentos processados com esta tecnologia são expostos a altas temperaturas por períodos de tempo curtos limitando, limitando assim os efeitos de desnaturação sobre proteínas, aminoácidos, vitaminas, amidos e enzimas (MOSCICKI; ZUILICHEM, 2011). Os ingredientes do alimento são cozidos ou aquecidos como consequência do calor aplicado ao corpo do extrusor. A matéria prima acondicionada previamente (umidade de 15 a 40 %) é colocada no extrusor (Figura 5) onde os movimentos giratórios do parafuso forçam sua passagem através de uma matriz (PEREDA et al., 2007).

As condições estabelecidas durante a extrusão como temperatura, pressão, tamanho dos orifícios da matriz laminar e intensidade das forças de cisalhamento assim como as características de matéria prima (conteúdo de água, estrutura física e composição química), influenciam as características do produto extrusado (FELLOWS, 1994). Segundo Brennan (1998), os alimentos submetidos à extrusão, sofrem vários tipos de transformações como desidratação, cisalhamento, homogeneização, solubilização, plastificação, inativação enzimática e microbiana, orientação de moléculas e agregados, moldado, expansão e secagem. Portanto, no desenvolvimento de

produtos usando a extrusão, é necessário conhecer e avaliar os fenômenos envolvidos no processo.

Figura 5 – Esquema de um extrusor com suas partes e zonas



Fonte: Steel et al., (2004).

Os cereais são considerados adequados para o processo de extrusão, já que pelo alto teor de amido, têm boas propriedades de expansão, característica importante neste tipo de produtos (NAVARRETE et al., 2006). Porém, a expansão apresenta dificuldades quando os cereais são ricos em fibras e lipídeos como a aveia. Neste contexto, alguns pesquisadores trabalham em avaliar as condições de processamento da aveia para melhorar as características indesejáveis dos extrusados. Autores como Karam e colaboradores (2001) propuseram a produção de snacks extrusados de aveia incluindo amido modificado na formulação. Como resultado, eles conseguiram obter produtos finais com boas propriedades de expansão, dureza e fraturabilidade. De outro lado, estudos relacionados à tecnologia da extrusão têm avaliado os efeitos do processamento nas características da fibra solúvel da aveia.

Por exemplo, Zhang e colaboradores (2009) relatam que a extrusão pode mudar algumas propriedades da fibra solúvel da aveia. Eles observaram que após a extrusão, características como a solubilidade e a capacidade de absorção apresentaram uma diminuição na fibra extrusada em relação à fibra não tratada. Outro estudo mais recente demonstrou que o processo de extrusão realizado a determinadas temperaturas pode incrementar o rendimento, a solubilidade e a viscosidade da fibra solúvel da aveia, melhorando suas propriedades funcionais (ZHANG et al., 2011). Quanto à viscosidade da aveia, alguns pesquisadores têm avaliado o efeito combinado da umidade da matéria prima e das temperaturas de extrusão sobre a viscosidade de extrusados de aveia, encontrando que a viscosidade inicial incrementa com o aumento da umidade e a temperatura de extrusão, enquanto que a viscosidade máxima a temperatura constante, diminui com o aumento da temperatura (GUTKOSKI; EL-DASH, 1999). Frente ao crescente interesse em desenvolver produtos extrusados com ingredientes nutritivos que possam melhorar a saúde, é fundamental padronizar os parâmetros de extrusão assim como avaliar os extrusados quanto as suas propriedades físico-químicas e sensoriais (YAO et al., 2011).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 OBTENÇÃO DAS AMOSTRAS

As amostras de farinha de aveia integral foram fornecidas pela indústria S.L. Cereais e Alimentos Ltda localizada em Mauá da Serra (PR). Para o estudo, foi utilizado a cultivar (*Avena Sativa* L.) IAC7. O grão de aveia foi tratado termicamente e moído em moinho de martelo. Após a moagem, a aveia foi classificada e armazenada a -20°C até o momento das análises.

3.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA

As análises de caracterização físico-química da farinha de aveia foram conduzidas em três repetições e realizadas segundo os métodos oficiais da American Association of Cereal Chemist (AACC, 1995), avaliando os seguintes parâmetros: Umidade (método 44-15A), proteína (método 46-10), lipídeos (método 02-01A), cinzas (método 08-01), fibra solúvel e insolúvel (método 32-07), amido total (método 76-13) e β -glucanas (método 32-23). As análises para determinação de amido total, fibra solúvel e insolúvel e β -glucanas, foram realizadas utilizando kits enzimáticos da Megazyme Internacional Ireland Limited. Para as análises de determinação de β -glucanas, foi realizada prévia extração de açúcares usando etanol aquoso 50% v/v, recomendado pelo kit da Megazyme para cereais tratados termicamente.

3.3 AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS DE VISCOSIDADE DA FARINHA INTEGRAL DE AVEIA

Foram elaboradas suspensões da farinha integral de aveia em três repetições, utilizando uma proporção de 25 mL de água destilada e 3,63 g de farinha integral de aveia em base seca. A umidade das amostras foi considerada para manter a proporção definida. O *Rapid Visco Analyzer* (RVA 4500, Perten Instruments of Australia Pty Limited) foi utilizado para avaliar a viscosidade das suspensões em função do tempo, temperatura e velocidade aplicando o perfil utilizado por Zhou et al., (2000): velocidade inicial de 960 rpm durante 10 seg e 115 rpm para o restante do perfil; temperatura inicial de 40°C durante 1 minuto, com aumento a 90°C em 3 minutos mantendo a 90°C durante 6,5 minutos; resfriamento a 40°C em 4,5 minutos e mantendo a 40°C durante 5 minutos para um total de 20 minutos. Os parâmetros avaliados foram: temperatura de pasta (TP; temperatura de formação de

pasta), pico de viscosidade (PV; máxima viscosidade durante o aquecimento), tempo do pico de viscosidade (TPV; tempo para atingir o pico de viscosidade máxima), *trough* ou viscosidade mínima (Vmin; mínima viscosidade depois do pico máximo de viscosidade), *breakdown* ou quebra de viscosidade (QV; diferença entre o pico de viscosidade e a viscosidade mínima), viscosidade final (VF; viscosidade ao final do teste), *setback* ou retrogradação (RT; diferença entre a viscosidade final e a viscosidade mínima) (CROSBIE; ROSS, 2007).

3.4 EXTRUSÃO DA FARINHA INTEGRAL DE AVEIA E AVALIAÇÃO DA VISCOSIDADE

A extrusão foi realizada na Planta de Cereais e Leguminosas da Embrapa Agroindústria de Alimentos localizada em Guaratiba no Rio de Janeiro (RJ). A farinha integral de aveia foi extrusada em uma extrusora *Cletral Evolun HT25* de parafuso duplo e matriz laminar de 8mm. Foram utilizadas 3 temperaturas de extrusão (80,110 e 140°C) e 2 umidades de matéria prima (15 e 21%). A rotação do parafuso durante o processo se manteve fixa em 300 rpm. As temperaturas foram aplicadas dentro de um perfil de temperatura de acordo com as 10 zonas da extrusora: 20°C (zona 1), 30°C (zona 2), 50°C (zona 3), 80°C (zona 4), 90°C (zona 5), 80°C (zonas 6, 7, 8 e 9), aplicando a temperatura de cada ensaio na zona 10 como mostra a Figura 6. A sequência seguida para extrusar a farinha é mostrada na Tabela 1. A partir da extrusão, foram obtidas 6 amostras de farinha extrusada que serão identificadas como: farinha extrusada 1 (FE1), farinha extrusada 2 (FE2), farinha extrusada 3 (FE3), farinha extrusada 4 (FE4), farinha extrusada 5 (FE5), farinha extrusada 6 (FE6), cujo delineamento experimental é explicado no item 3.5. O material extrusado foi cortado, separado por amostra e disposto em bandejas até esfriamento até atingir a temperatura ambiente. Depois foi levado para secagem em estufa a 60°C durante 3 horas e armazenado em sacos plásticos individuais para dar continuidade às análises.

Figura 6 – Perfil de temperatura utilizado na extrusora Clextral Evolun HT25

Zonas de temperatura da extrusora	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Temperatura °C	T° definida para cada ensaio (80, 110, 140°C)	80	80	80	80	90	80	50	30	20



Fonte: desenvolvido pelo autor

As amostras extrusadas foram trituradas separadamente em moinho de laboratório tipo cyclone (Udy Corporation Cyclone Sample Mill) e passadas por uma peneira de 0,5mm de abertura. Com o objetivo de comparar a viscosidade das amostras extrusadas com a farinha integral não extrusada, as amostras moídas e peneiradas foram usadas para preparar suspensões mantendo a mesma proporção água-farinha utilizadas nas suspensões da farinha de aveia integral não extrusada e utilizando o mesmo perfil de viscosidade (item 3.3). Da mesma forma, a umidade das amostras extrusadas previamente determinada foi considerada para manter a proporção definida

3.5 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Para realizar a extrusão, foi utilizado um delineamento fatorial simples 2^2 (NETO et al., 2010) representado pela equação 1:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_{12} x_1 x_2 \quad (1)$$

Onde:

y= função resposta

x_1 x_2 = valores das variáveis independentes

β_0 = intercepto ou ponto central

β_{12} = coeficiente de interação entre as variáveis independentes

Foi avaliado o efeito de duas variáveis independentes: temperatura de extrusão (x_1) e umidade da matéria prima (x_2) sobre o parâmetro “pico de viscosidade” da farinha de aveia. A rotação do parafuso se manteve fixa em 300 rpm. As variáveis independentes foram avaliadas com 2 níveis de variação (codificados como -1 e 1) para um total de 4 combinações de tratamento e 2 repetições no ponto central (codificado como 0 e utilizando temperatura de 110°C+18% de umidade) para um total de 6 amostras extrusadas. Os níveis definidos para cada amostra e os valores reais das variáveis são mostrados na Tabela 1. As condições de extrusão foram escolhidas com base em trabalhos realizados anteriormente (GUTKOSKI; EL-DASH, 1999). Os dados de viscosidade resultantes das 6 amostras, foram analisados mediante a análise de variância (ANOVA) ao nível de 5% de significância no programa Statistica versão 7.0. O mesmo programa foi utilizado para construir o gráfico de superfície de resposta correspondente ao parâmetro “pico de viscosidade” para visualizar a influência das variáveis avaliadas na viscosidade. Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) seguido do teste de Tukey ao nível de 5% de significância no programa Statistica versão 7.0.

Tabela 1 – Condições de extrusão utilizadas de acordo com o desenho fatorial 2² com 2 repetições no ponto central

Variáveis	Níveis		
	-1	0	+1
x ₁ =Temperatura (°C)	80	110	140
x ₂ =Umidade (%)	15	18	21

Amostra	*Código da amostra	Sequência da extrusão	Temperatura	Umidade	Rotação
1	FE1	B	-1 (80°C)	-1 (15%)	300 rpm
2	FE2	A	-1 (80°C)	+1 (21%)	300 rpm
3	FE3	D	+1 (140°C)	-1 (15%)	300 rpm
4	FE4	E	+1 (140°C)	+1 (21%)	300 rpm
5	FE5	C	0 (110°C)	0 (18%)	300 rpm
6	FE6	F	0 (110°C)	0 (18%)	300 rpm

*FE1: farinha extrusada 1; FE2: farinha extrusada 2; FE3: farinha extrusada 3; FE4: farinha extrusada 4; FE5: repetição 1 no ponto central.; FE6: repetição 2 no ponto central

3.6 HIDRÓLISE ENZIMÁTICA DO AMIDO, DAS β -GLUCANAS E DA PROTEÍNA DAS FARINHAS DE AVEIA

Para estudar a influência do amido, das β -glucanas e da proteína na viscosidade das amostras de farinha extrusada e da farinha não extrusada, estas foram submetidas à hidrólise enzimática desses três componentes separadamente. Para realizar a hidrólise enzimática, foram usadas três amostras: duas correspondentes às amostras extrusadas (FE2 e FE3) e uma à farinha não extrusada (FNE). As duas amostras extrusadas foram selecionadas com base no parâmetro pico de viscosidade: A FE2 foi selecionada por apresentar a maior viscosidade; a FE1 e a FE3 apresentaram a menor viscosidade entre as farinhas extrusadas sem diferenças significativas pelo teste de Tukey, sendo selecionada a FE3 por ter uma temperatura de extrusão diferente da FE2.

Baseado na metodologia usada por Liu et al. (2010), as amostras FE2 e FE3 e a FNE, foram submetidas separadamente a hidrólise enzimática do amido, das β -glucanas e da proteína totalizando 3 tratamentos enzimáticos. Para isto, foram preparadas suspensões em três repetições sob as mesmas condições do numeral 3.3. A hidrólise foi realizada usando as enzimas em proporções e condições recomendadas pela Megazyme (Tabela 2) da seguinte maneira: para a hidrólise do amido (tratamento enzimático 1), foram usadas as enzimas α -amilase + amiloglicosidase (150 U/g de farinha e 660 U/g de farinha respectivamente) (MEGAZYME INTERNACIONAL IRELAND LIMITED, 2009). Para a hidrólise das β -glucanas (tratamento enzimático 2), foi usada a enzima liquenase (100 U/g de farinha) (MEGAZYME INTERNACIONAL IRELAND LIMITED, 2003). Para hidrólise da proteína (tratamento enzimático 3), foi usada a enzima protease (35 U/g de farinha) (MEGAZYME INTERNACIONAL IRELAND LIMITED, 2009). Todas as hidrólises foram realizadas em três repetições com seu respectivo controle (tampão+farinha de aveia sem adição de enzima), para comparar o perfil de viscosidade antes e depois da hidrólise. Assim, as amostras FNE, FE2 e FE3 depois da hidrólise foram identificadas neste trabalho com as siglas HFNE, HFE2 e HFE3 respectivamente, enquanto que, seus correspondentes controles foram identificados com as siglas CFNE, CFE2 e CFE3 respectivamente. A quantidade de enzima adicionada foi descontada do volume final de tampão para manter a proporção água/farinha utilizada no preparo das suspensões. O RVA foi programado para incubar as suspensões com o fim de promover a atividade da enzima. Imediatamente foi aplicado o mesmo perfil de viscosidade descrito no numeral 3.3. O tempo de incubação utilizado foi o recomendado nos protocolos da Megazyme para cada enzima e foi aplicado também para as amostras controle (tabela 2). Depois da aplicação do perfil de viscosidade, as suspensões das amostras hidrolisadas foram congeladas para posteriormente avaliar a eficiência enzimática.

Tabela 2 – Condições dos tratamentos enzimáticos segundo as recomendações dos protocolos da Megazyme

Enzimas	Tampão	Temperatura e tempo de incubação	Velocidade de agitação
α -amilase termoestável (<i>B.licheniformis</i>) (3000U/mL) + Amiloglicosidase (<i>A.niger</i>) (3300U/mL)	Acetato de sódio pH 3,8	50°C por 30 minutos	115 rpm
Protease (<i>B.licheniformis</i> ; Subtilisina A) (350U/ml)	Mes-tris pH 8,2	60°C por 30 minutos	115 rpm
Liquenase (endo-(1-3), (1-4)- β -D-glucan 4-glucanohidrolase) (1000U/mL)	Fosfato de sódio 20mM pH 6,5	50°C por 1 hora	115 m

3.7 AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DOS TRATAMENTOS ENZIMÁTICOS

Para verificar se as enzimas utilizadas com cada tratamento enzimático hidrolisaram efetivamente o componente alvo, as amostras foram analisadas antes e depois da hidrólise quanto à quantidade de amido total, β -glucanas e proteína. As análises foram realizadas da seguinte forma: para amido total foi seguido o método AACC 76-13 e para β -glucanas o método AACC 32-23 segundo os métodos oficiais da American Association of Cereal Chemist (AACC, 1995) e utilizando os kits enzimáticos da Megazyme Internacional Ireland Limited de 2009 e 2003 respectivamente. A determinação de proteína total foi realizada antes da hidrólise pelo método Kjeldahl da AACC 46-10 (AACC, 1995) e depois da hidrólise foi determinada a proteína solúvel pelo método de Bradford (BRADFORD, 1976). Após as hidrólises de amido e β -

glucanas, os hidrolisados das farinhas foram descongelados e secos em estufa a 105°C até peso constante. Depois da secagem, foi utilizado nitrogênio líquido para auxiliar a moagem das amostras. As análises de amido e β -glucanas foram realizadas em três repetições. Para as duas análises, as amostras foram tratadas previamente com etanol aquoso para a extração de açúcares livres normalmente presentes em amostras tratadas termicamente. O volume de etanol foi considerado para a correção nos cálculos finais. Após a hidrólise de proteína, os hidrolisados foram descongelados e analisados pelo método Bradford para determinar a proteína solúvel resultante da hidrólise. Previamente, foi construída a curva padrão de proteína com uma solução de soro de albumina bovina (BSA) em uma concentração de 1 μ g/ μ L, e o reativo azul de comassie blue G-250. As amostras hidrolisadas e descongeladas foram pesadas (0,1g) e diluídas em 400 μ l de tampão MÊS/TRIS pH 8,2 para realizar a leitura no espectrofotômetro (Anexo A). As determinações foram realizadas em três repetições. Para calcular a degradação de amido, β -glucana e proteína, os valores de cada componente antes e depois da hidrólise foram relacionados para obter o percentual de eficiência enzimática de cada tratamento.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA

Os dados da composição química da cultivar IAC7 são apresentados na Tabela 3. A média das cinzas e a umidade em cultivares de aveia variam na literatura. Weber e colaboradores (2002), avaliando a cultivar UPF18 encontraram valores de 1,95% para cinzas e 11,89% de umidade. De Sá e colaboradores (1998), encontraram valores de cinzas e umidade de 1,74 e 5,96% respectivamente, para a cultivar IAC7. Comparando com os valores obtidos neste trabalho, pode ser observado que o teor de cinzas (1,78%) e de umidade (8,94%), se encontram na faixa de valores reportados por outros autores, sendo que a umidade é a característica que mais varia entre os estudos.

Em relação aos lipídeos, o teor encontrado na maioria das cultivares de aveia, está entre 5 e 9% (HOSENEY, 1991). Particularmente, a cultivar IAC7, avaliada neste trabalho, tem apresentado em outros trabalhos um valor médio de 9,07% (de SÁ et al., 1998), valor semelhante ao encontrado neste estudo de 8,98%. Os mesmos autores encontraram para proteína, um valor médio de 17,95%, sendo muito próximo ao valor reportado neste trabalho de 18,02%. Ao revisar estudos com outras cultivares de aveia, encontram-se valores inferiores para as cultivares UPF 18 e UPFA 20 TeixeiraRinha com 14,88 e 14,41% de proteína respectivamente (SIMIONI et al., 2007).

Quanto ao teor de fibras, o resultado de fibras solúveis (4,82%) e insolúveis (3,86%) mostrado na Tabela 3, varia em relação aos dados reportados na literatura: para a cultivar IAC 7, tem sido reportados valores médios para fibra solúvel e insolúvel de 5,88 e 6,02% respectivamente (de SÁ et al., 1998). Já, com outras cultivares como a UPF 18 os valores foram de 5,59% para fibra solúvel e 7,73% para fibra insolúvel (WEBER et al., 2002). Segundo Gutkoski e Trombetta (1999), que avaliaram o teor de fibras em diferentes cultivares de aveia, essas variações podem ser explicadas pela variabilidade genética das cultivares. Eles encontraram valores para fibras que variaram entre 3,13 e 7,25% para fração solúvel e entre 4,87 e 8,85% para a fração insolúvel.

Segundo Hoover e colaboradores (2003), o amido na aveia constitui cerca de 60% de matéria seca do grão. O teor encontrado na

aveia pode variar entre cultivares como foi demonstrado em um estudo conduzido por Bhattu (1992) em 19 cultivares de genótipos de aveia provenientes de diferentes países. Ele reportou valores de amido em uma faixa de 49,0 a 75,2%. Já, em cultivares brasileiras de aveia, temos vários estudos, como o reportado por Simione e colaboradores (2007) com 50,1% de amido e Weber e colaboradores (2002) com 50,73%, valores próximos e menores ao encontrado neste estudo (57,40%).

No caso das β -glucanas, o valor obtido de 4,06%, encontra-se dentro da concentração média de β -glucanas para cultivares nacionais, segundo o estudo realizado por Beber e colaboradores (2002) no qual os valores variaram entre 3,95-5,90%. Segundo o estudo do Beber, essas variações foram dadas pela interação entre o genótipo, local e ano de cultivo. Um estudo realizado em 1998 com aveia IAC 7, para avaliar a concentração de β -glucanas nas diferentes etapas de processamento da aveia, reportou uma percentagem de 5,11% (de SÁ et al., 1998). É importante ressaltar que os valores reportados para β -glucanas podem variar para menos se a amostra é submetida à extração prévia de açúcares livres como foi realizado neste estudo.

Tabela 3 – Composição química da cultivar de aveia IAC7

Componente	%
Umidade	8,94 \pm 0,16
Proteína	18,02 \pm 0,45
Lipídeos	8,98 \pm 0,38
Cinzas	1,78 \pm 0,03
Fibra total	8,82 \pm 0,26
Fibra solúvel	4,82 \pm 0,14
Fibra insolúvel	3,86 \pm 0,20
Amido Total	57,40 \pm 0,79
² β -glucanas	4,06 \pm 0,06

Resultados expressos como média \pm o desvio padrão ²Análise realizada com extração prévia de açúcares livres

4.2 EFEITO DAS VARIÁVEIS DE EXTRUSÃO (TEMPERATURA E UMIDADE) SOBRE O PARÂMETRO PICO DE VISCOSIDADE DAS AMOSTRAS EXTRUSADAS

A Tabela 4 apresenta os resultados dos parâmetros de viscosidade analisados nas 6 amostras de farinha extrusada. O valor máximo de viscosidade foi obtido com a condição 80°C+ 21%, correspondente à amostra FE2 e a viscosidade mais baixa com a condição 140°C+ 15% correspondente à amostra FE3.

Tabela 4 – Parâmetros de viscosidade das farinhas de aveia integral extrusadas

¹ Amostra	² TP(°C)	² PV(cP)	² TPV (min)	² Vmin (cP)	² QV (cP)	² VF(cP)	² RT (cP)
Média±desvio padrão							
FE1	40,22±0,08	3636,33±25,54	7,6±0,17	2478,33±74,81	1158±99,95	4350,33±97,75	1872±25,51
FE2	40,17±0,08	5298,33±10,07	8,06±0,06	3892,33±22,50	1406±31,76	6595±10,44	2702,67±29,57
FE3	40,20±0,00	3594,67±27,74	6,88±0,05	2351,33±62,17	1243,33±35,23	5094,67±58,82	2743,33±111,36
FE4	40,17±0,03	4840,00±42,58	7,24±0,10	3452,33±94,74	1387,67±55,08	6066±24,02	2613±71,00
FE5	40,20±0,05	4568,67±21,36	7,83±0,07	3282,00±31,58	1286,67±52,78	5676,67±43,69	2394,67±13,20
FE6	40,25±0,05	4591,67±61,65	7,89±0,11	3299,33±67	1292,33±9,45	5606,67±88,29	2307,33±33,86

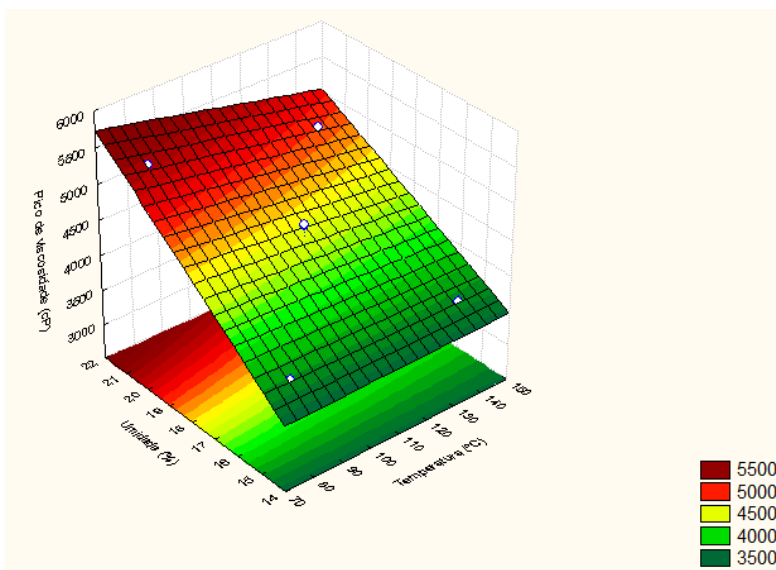
¹FE1:farinha extrusada 1(80°C, 15%); FE2:farinha extrusada 2 (80°C, 21%); FE3:farinha extrusada 3 (140°C, 15%); FE4: farinha extrusada 4 (140°C, 21%); FE5:farinha extrusada 5 (110°C, 18%,repetição 1 do ponto central); FE6:farinha extrusada 6 (110°C, 18%,repetição 2 do ponto central). ²TP:Temperatura de formação de pasta; PV: Pico de viscosidade; TPV:Tempo para atingir o PV;Vmin:Trough ou viscosidade mínima;QV:Quebra de viscosidade;FV:Viscosidade final;RT: Retrogradação; °C=grau Celsius; cP= centipoise; min= minutos.

A análise de variância ao nível 5% de probabilidade para conhecer a influência da temperatura e a umidade sobre o parâmetro pico de viscosidade, mostrou que houve contribuição linear da umidade ($p < 0,05$). O coeficiente de determinação R^2 foi de 0,967, indicando com isto que a umidade explica em um 96,7% a variação na viscosidade em torno da média. Pelo contrário, a análise dos coeficientes de regressão mostrou não ter ocorrido efeito significativo da variável temperatura sobre a viscosidade nos níveis estudados. Em relação à interação das

variáveis independentes, esta não foi significativa ao nível de 5% de probabilidade não contribuindo para o aumento da viscosidade.

Este resultado é corroborado com os dados da Tabela 4, onde ao comparar as amostras extrusadas sob a mesma temperatura e diferente umidade, o valor de viscosidade é maior quando a umidade é mais alta. Assim, a viscosidade para a condição 80°C+15% na FE1 foi de 3636,33cP, enquanto que para a condição 80°C+21% na FE2 foi de 5298,33cP. Da mesma forma, a viscosidade para a condição 140°C+15% na FE3 foi de 3594,67 aumentando a 4840 cP com 140°C+21% na FE4. Para representar o efeito das variáveis no pico de viscosidade foi construído um gráfico tridimensional de superfície de resposta (Figura 7). É possível observar que os maiores valores de viscosidade tendem a aumentar na região de maior umidade de extrusão. Pelo contrário, o gráfico não mostra influência da variável temperatura no aumento da viscosidade nem interação com a umidade.

Figura 7 – Efeito da temperatura e umidade no pico de viscosidade de farinhas extrusadas de aveia



A influência da umidade no aumento da viscosidade pode ser explicada pela degradação dos grânulos de amido provocada pelo aumento do teor de água (SILVA et al., 2004). Este comportamento foi observado por Chiang e colaboradores (1977) que avaliaram a influência da umidade na gelatinização do amido de trigo em produtos extrusados. Eles encontraram que a umidade não teve uma influência significativa quando foi combinada com temperaturas entre 65 e 80°C, enquanto que a temperaturas entre 95 e 110°C, a umidade mostrou um efeito significativo na gelatinização do amido, demonstrando um efeito da umidade dependente da variação na temperatura. Este efeito foi constatado também por Torres e colaboradores (2005) avaliando o efeito da temperatura e a umidade no processamento de farinha de banana verde por extrusão. Eles reportaram que as duas variáveis exerceram influência sobre a viscosidade máxima, porém, a umidade teve a maior influência. Megenassi e colaboradores (2007) estudaram a influência da umidade sobre as propriedades de pasta de farinha de mandioca-salsa. Eles relataram que a umidade interferiu significativamente no aumento da viscosidade, encontrando uma tendência a maiores picos de viscosidade com o aumento da umidade, tal como foi encontrado no presente trabalho no parâmetro pico de viscosidade. Porém, outros autores como Madeira e colaboradores (2007), reportam uma diminuição da viscosidade com o aumento da umidade; eles observaram este fenômeno em produtos extrusados à base de misturas de farinha de arroz integral e milho, onde os valores de viscosidade máxima tendiam a reduzir conforme aumentava a umidade. Segundo os mesmos autores, isto acontece porque a alta temperatura torna a massa plástica menos viscosa permitindo que as moléculas sejam mais suscetíveis à ação de cisalhamento, resultando em uma maior degradação do amido com menores valores de viscosidade a 95°C.

4.3 COMPARAÇÃO DAS PROPRIEDADES VISCOGRÁFICAS ENTRE FARINHAS EXTRUSADAS E A FARINHA NÃO EXTRUSADA

Os resultados dos parâmetros de viscosidade das amostras extrusadas FE1, FE2, FE3, FE4 e da FNE são comparados na Tabela 5. Em termos gerais, as amostras extrusadas apresentaram uma diminuição na viscosidade máxima, viscosidade mínima e viscosidade final em comparação com a FNE. Quando o amido é submetido a aquecimento

continuo juntamente com agitação, como no caso da avaliação da viscosidade no RVA, ele perde a integridade de seus grânulos resultando uma queda de viscosidade (COULTATE, 2004). Essa queda é maior nas amostras extrusadas dada a maior degradação do amido durante o processo de extrusão. O maior valor de viscosidade, 5298,33cP, foi obtido com a FE2 tratada a 80°C+21% e o menor valor de viscosidade, 3594,67cP, com a FE3 tratada a 140°C+15%. O teste de tukey para este parâmetro mostrou diferenças significativas entre todas as amostras extrusadas, exceto entre a FE1 (80°C, 15%) e FE3 (140°C, 15%).

Tabela 5 – Comparação dos parâmetros de viscosidade entre farinhas extrusadas e a farinha não extrusada

¹ Amostra	² TP(°C)	² PV(cP)	² TPV (min)	² Vmin (cP)	² QV (cP)	² VF(cP)	² RT (cP)
³ Média±desvio padrão							
FNE	77,15±4,46a	8821,67±7,51a	8,79±0,09a	7459,33±22,72a	1362,33±24,91ab	11385,33±32,47a	3926±40,51a
FE1	40,22±0,08b	3636,33±25,54d	7,6±0,17c	2478,33±74,81d	1158±99,95bc	4350,33±97,75e	1872±25,51c
FE2	40,17±0,08b	5298,33±10,07b	8,06±0,06b	3892,33±22,50b	1406±31,76a	6595±10,44b	2702,67±29,57b
FE3	40,20±0,00b	3594,67±27,74d	6,88±0,05e	2351,33±62,17d	1243,33±35,23b	5094,67±58,82d	2743,33±111,36b
FE4	40,17±0,03b	4840,00±42,58c	7,24±0,10d	3452,33±94,74c	1387,67±55,08ab	6066±24,02c	2613±71,00b

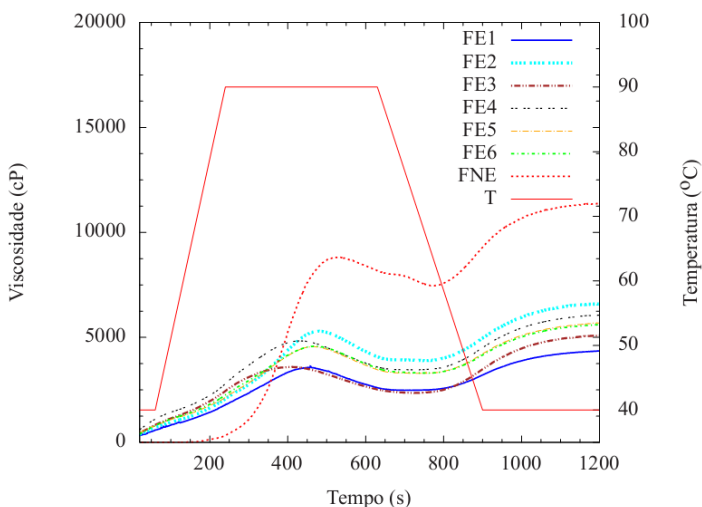
¹FNE:farinha não extrusada; FE1:farinha extrusada 1(80°C, 15%); FE2:farinha extrusada 2 (80°C, 21%); FE3:farinha extrusada 3(140°C, 15%); FE4:farinha extrusada 4(140°C, 21%)

²TP: Temperatura de formação de pasta; PV: Pico de viscosidade; TPV:Tempo para atingir o PV; Vmin:Trough ou viscosidade mínima;QV:Quebra de viscosidade;FV:Viscosidade final;RT:Retrogradação; °C=grau Celsius; cP= centipoise; min= minutos; ³Os valores da mesma coluna que não apresentam a mesma letra, diferem significativamente pelo teste de Tukey (p<0,05)

O perfil para a FNE apresentou a forma típica para aveia de acordo com o perfil de temperatura aplicado: uma elevação da curva no pico máximo de viscosidade, uma decida na viscosidade mínima e uma elevação na viscosidade final. Uma tendência similar foi observada nas farinhas extrusadas, porém os perfis apresentaram uma viscosidade inicial maior em relação à FNE (Figura 8). Este resultado é característico de produtos extrusados, uma vez que as dextrinas produzidas pela ação do cisalhamento sobre as moléculas do amido

provocam aumento da viscosidade a temperaturas menores e, por outro lado, uma queda da viscosidade durante o aquecimento a 90°C, contrário ao que acontece com produtos crus (CROSBIE; ROSS, 2007). A marcada diferença das curvas de viscosidade entre farinhas extrusadas e não extrusadas foi observada também por Alvim e colaboradores (2002) com farinhas extrusadas à base de farinha de milho. A diferença mais clara foi a baixa viscosidade inicial da farinha de milho crua em relação à farinha extrusada; porém, a farinha crua mostrou um pico de viscosidade 7,5 vezes maior que a farinha de milho extrusada, demonstrando que o processo de extrusão diminuiu significativamente a viscosidade das farinhas.

Figura 8 – Perfil de viscosidade das farinhas extrusadas e da farinha não extrusada



FE1:farinha extrusada 1(80°C, 15%); FE2:farinha extrusada 2 (80°C, 21%); FE3:farinha extrusada 3 (140°C, 15%); FE4: farinha extrusada 4 (140°C, 21%); FE5:farinha extrusada 5 (110°C, 18%); FE6:farinha extrusada 6 (110°C, 18%); FNE: farinha não extrusada; T: temperatura; cP:centipoise; s:segundos; °C:grau Celsius.

4.3.1 Temperatura de formação de pasta

A temperatura de formação de pasta, TP, é a temperatura na qual acontece a formação de pasta do amido (CROSBIE; ROSS, 2007). Os dados da Tabela 5 e a figura 8 mostram que para a FNE, TP=77,15°C. Este valor é maior do que a temperatura de gelificação reportada na literatura para amido de aveia (53°C-59°C) (HOSENEY, 1991), mostrando que contrário ao que acontece com outros tipos de amido, a formação da pasta não ocorreu imediatamente depois da gelatinização, senão que foi necessário um aumento considerável da temperatura para o amido gelatinizar. De acordo com Wang e White, (1994b), o aumento da temperatura de pasta pode ser explicado pela grande quantidade de lipídeos presentes no amido de aveia, que provoca uma diminuição do inchamento do grânulo de amido resultando em um aumento da temperatura. Eles observaram que o amido de aveia tende a apresentar temperaturas de pasta mais altas quando comparado ao amido de milho, resultado que está relacionado à maior quantidade de lipídeos do amido de aveia em comparação com o amido de milho (WANG; WHITE, 1994a). Já nas farinhas extrusadas, a formação da pasta ocorreu em uma faixa de temperatura entre 40,17°C e 40,25°C, valores significativamente menores em comparação com a TP da FNE, o que pode ser explicado pela prévia gelatinização do amido causada pelas temperaturas utilizadas durante o processo de extrusão. Portanto, as amostras extrusadas levam menos tempo que a FNE para atingir a viscosidade máxima.

4.3.2 Pico de viscosidade

O pico de viscosidade ou viscosidade máxima é o valor mais alto de viscosidade obtido durante o ciclo de aquecimento (CROSBIE; ROSS, 2007). O processo de extrusão teve uma forte influencia no parâmetro *pico de viscosidade*, sendo este significativamente menor para todas as amostras extrusadas em comparação com a FNE (Tabela 5, Figura 8). A queda de viscosidade das amostras extrusadas pode ser explicada pelo rompimento da estrutura dos grânulos de amido durante o processo de extrusão o que afeta a sua capacidade de inchar em água quente, resultando em uma viscosidade reduzida (SEBIO, 1996). A influência do tratamento de extrusão na diminuição da viscosidade é um fenômeno que foi observado por Alvim e colaboradores (2002) em farinhas extrusadas de milho.

Segundo Menegassi (2007), as condições severas usadas no processo de extrusão podem destruir as estruturas cristalinas do amido resultando em uma ausência do pico de viscosidade. Na Figura 8, os perfis das amostras extrusadas embora apresentem uma viscosidade reduzida em comparação com a FNE, ainda exibem um pico de viscosidade, talvez como resultado da presença de grânulos de amido ainda intatos depois do processo de extrusão, mostrando que as condições de extrusão usadas neste trabalho não foram suficientemente severas para causar a destruição completa do amido. Já comparando o pico de viscosidade entre as amostras extrusadas, é possível observar que a uma mesma temperatura, os valores de viscosidade foram maiores quando o teor de umidade foi de 21% (Tabela 5).

4.3.3 Tempo do pico de viscosidade

O tempo do pico de viscosidade é definido como o tempo necessário para a curva atingir o pico de viscosidade máxima (CROSBIE; ROSS, 2007). De acordo com a Tabela 5 e a Figura 8, pode ser observado que as amostras extrusadas demoraram menos tempo que a FNE para atingir o pico máximo de viscosidade. O fato das farinhas extrusadas apresentarem uma viscosidade inicial maior que a FNE a temperaturas de $\sim 40^{\circ}\text{C}$, faz com que esse tipo de farinhas consigam atingir a máxima viscosidade mais rápido que a FNE. O aumento da viscosidade a baixas temperaturas foi observado também por Yao e colaboradores (2011) ao comparar a viscosidade entre cereais extrusados de aveia e farinhas de aveia não extrusadas. Nas amostras extrusadas, ao comparar aquelas extrusadas sob a mesma umidade e diferente temperatura, é possível observar que as de maior temperatura (140°C) demoraram menos tempo para atingir o pico de viscosidade.

4.3.4 Viscosidade mínima

A viscosidade mínima é o menor valor de viscosidade obtido durante o período em que a temperatura é mantida constante a 90°C (CROSBIE; ROSS, 2007). Segundo Teba (2009), a diminuição da viscosidade a temperatura constante ocorre como resultado da ruptura dos grânulos de amido, devido à agitação do meio. Os valores da viscosidade mínima apresentados pelas farinhas extrusadas foram significativamente menores que os valores da FNE (Tabela 5, Figura 8) como resultado de uma viscosidade máxima reduzida. Os valores de

viscosidade mínima das farinhas extrusadas foram menores quando as umidades foram mais baixas (FE1 e FE3), mostrando a influência da umidade na viscosidade. A redução da viscosidade é maior quando a umidade é menor, devido a uma maior susceptibilidade das moléculas de amido à ação do cisalhamento (TEBA, 2009). O baixo teor de umidade somado às condições severas de extrusão incrementa a quantidade de grânulos de amido degradados evidenciada nos valores de viscosidade mínima (HAGENIMANA et al., 2006).

4.3.5 Quebra de viscosidade

A quebra de viscosidade é a diferença entre a viscosidade máxima ou pico de viscosidade e a viscosidade mínima durante a manutenção a 90°C (CROSBIE; ROSS, 2007). O valor de quebra de viscosidade da FNE só apresentou diferenças significativas com a FE2, que resultou em uma quebra significativamente maior. Foi observado também um aumento na quebra da viscosidade quando a umidade foi mais alta (Tabela 5). Assim, para as farinhas FE1 e FE2, ambas com temperatura de 80°C, e com umidades de 15% e 21% respectivamente, os valores encontrados para a quebra de viscosidade foram de 1158 e de 1406 cP. Resultados similares foram obtidos por Bhattacharya e colaboradores (1999), que avaliaram os efeitos da umidade nas características de produtos extrusados a base de misturas de farinha de trigo e batata. Eles encontraram que a umidade pode atuar como um lubrificante reduzindo a viscosidade de fusão durante o processo de extrusão e como consequência, elevando os valores de quebra de viscosidade.

4.3.6 Viscosidade Final

A viscosidade final é a viscosidade resultante ao final do perfil de viscosidade no ciclo de resfriamento a 40°C (CROSBIE; ROSS, 2007). Tratamentos severos de extrusão que combinam umidades baixas e altas temperaturas podem causar a degradação do amido e como consequência a sua retrogradação, influenciando os valores de viscosidade final. A viscosidade final do amido ocorre na temperatura de resfriamento e está relacionada diretamente com a retrogradação do amido (RUANO, 2009) Os dados da Tabela 5 mostram uma viscosidade final significativamente maior para a FNE em relação às farinhas extrusadas. Estes resultados concordam com os obtidos por

Bhattacharya e colaboradores (1999), que não observaram um aumento acentuado na viscosidade final depois do esfriamento, o que revelou que o amido já foi gelatinizado e degradado durante a extrusão, resultando em um aumento insignificante da viscosidade final. Os mesmos autores notaram que os valores da viscosidade final geralmente aumentaram com o aumento do teor de umidade nos produtos avaliados. Comparando os valores de viscosidade final das amostras extrusadas, é possível ver esse efeito, já que os valores tendem a aumentar conforme aumenta a umidade. As amostras FE2 e FE4 com 21% de umidade, apresentaram valores de viscosidade final de 6595 e 6066 cP respectivamente, sendo valores mais altos em comparação com os apresentados pelas amostras FE1 e FE3 com 15% de umidade (4350,33 e 5094,67 cP respectivamente) (Tabela 5).

4.3.7 Retrogradação

A retrogradação é definida como a diferença entre a viscosidade final e a viscosidade mínima durante a manutenção a 90°C e permite avaliar o comportamento do amido durante seu resfriamento. A retrogradação ocorre como resultado da recristalização das moléculas de amilose e amilopectina, cujo reagrupamento aumenta a viscosidade final (TEBA, 2009).

Observando os dados da Tabela 5, é possível observar que a retrogradação da FNE foi significativamente maior que a apresentada pelas farinhas extrusadas, mostrando o efeito do processo de extrusão na redução deste parâmetro. De todas as farinhas extrusadas, a FE1 (80°C+15%) mostrou a menor retrogradação. Este fenômeno foi descrito por Gutkosky e EL-Dash (1999), quem encontraram que um valor de retrogradação menor em produtos extrusados pode ser obtido como consequência de submeter o amido a altas temperaturas (<60°C) e baixas umidades durante o processo de extrusão.

Eles observaram baixos níveis de retrogradação em amidos extrusados com baixa umidade a altas temperaturas e quando a extrusão foi realizada usando uma umidade mais alta e temperaturas moderadas, os produtos extrusados mostraram um alto grau de retrogradação. Porém, neste estudo, a maior retrogradação entre os extrusados, foi observada com a condição de maior temperatura e baixa umidade (140°C+15%) e quando a umidade foi aumentada a 21% combinada com

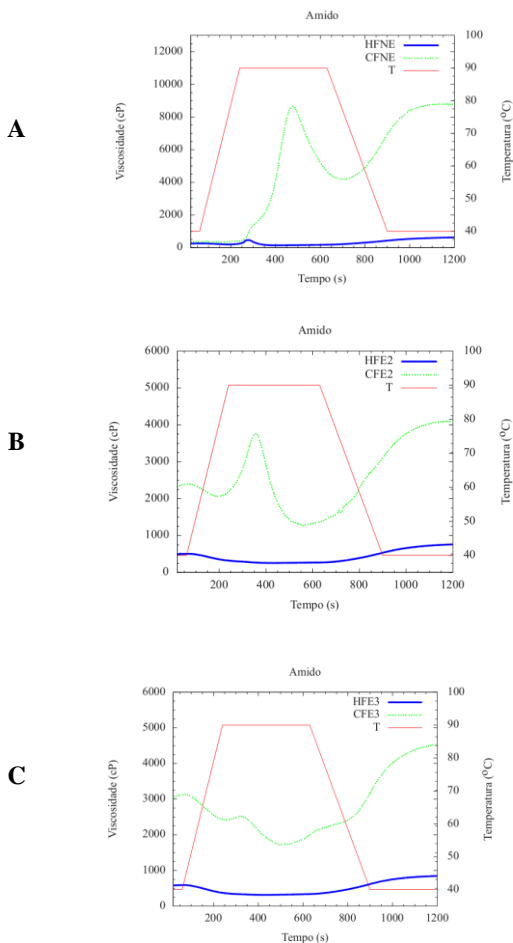
uma temperatura de 80°C, o valor de retrogradação foi menor. Em produtos extrusados, a retrogradação é dependente das modificações que acontecem na estrutura dos grânulos de amido durante o processo de extrusão (EL-DASH, 1983).

4.4 EFEITO DA HIDRÓLISE ENZIMÁTICA NAS PROPRIEDADES VISCOGRÁFICAS DAS FARINHAS

4.4.1 Hidrólise do amido com α -amilase e amiloglicosidase

Com o amido hidrolisado, os principais componentes que contribuem à viscosidade são as β -glucanas e a proteína. Nesta condição, o pico de viscosidade caiu significativamente depois da hidrólise para todas as amostras, como ilustra a Figura 9.

Figura 9 – Perfil de viscosidade antes e depois da hidrólise do amido com α -amilase+amiloglicosidase



A: Farina não extrusada (HFNE: farinha hidrolisada; CFNE: farinha controle);
B: Farinha extrusada 2, 80°C+21% (HFE2: farinha hidrolisada 2; CFE2: farinha controle 2);
C: Farinha extrusada 3, 140°C+15% (HFE3: farinha hidrolisada 3; CFE2: farinha controle 3);
 T: temperatura; cP: centipoise; s: segundos; °C: grau Celsius.

Para corroborar que o pico presente após a hidrólise pode ser atribuído ao efeito conjunto das β -glucanas e a proteínas, a tabela 6 mostra os resultados obtidos da eficiência enzimática da degradação do amido após a hidrólise, sendo de 86,20% para a FNE, de 99,55 para a FE2 e de 99,52% para a FE3.

Tabela 6 – Percentagem de eficiência enzimática da hidrólise do amido




¹ Amostra	%Amido antes da hidrólise	%Amido depois da hidrólise	%Eficiência enzimática
FNE	43,43 \pm 2,29	5,86 \pm 0,07	86,20 \pm 0,91
FE2	42,67 \pm 2,43	0,20 \pm 0,03	99,55 \pm 0,08
FE3	45,41 \pm 0,92	0,22 \pm 0,06	99,52 \pm 0,14

Resultados expressos como média \pm o desvio padrão da absorbância de três repetições. ¹FNE: farinha não extrusada; FE: farinha extrusada 2 (80°C, 21%); FE3: farinha extrusada 3 (140°C, 15%)

Observando os picos de viscosidade das farinhas na Figura 9, é possível visualizar que na FNE, os picos do controle, CFNE, e da hidrolisada, HFNE, foram atingidos na fase de aquecimento ($T=90^{\circ}\text{C}$), porém, na HFNE, o pico foi atingido mais rápido (4,52 min) em relação à CFNE (7,90 min) devido à degradação do amido causada pela hidrólise (Anexo B, Tabela 1). Na HFE2, contrário à HFNE, o pico foi atingido a 40°C , logo depois de começar o perfil de temperatura; como resultado, a curva apresenta uma forma mais plana provocada pela rápida queda de viscosidade. Na HFE3, diferente das outras amostras, seu controle, CFE3, se caracterizou por um pico a 40°C no começo do perfil de temperatura, resultando, portanto, em uma rápida queda da viscosidade com picos irregulares ao longo do perfil. Depois da hidrólise, o perfil da HFE3 apresentou a mesma tendência da HFE2, mostrando uma curva mais plana produto da hidrólise do amido. Autores estudando os efeitos da extrusão nas características do amido têm reportado que o efeito mecânico da extrusão combinado com as altas temperaturas comumente usadas no processo, provoca a completa destruição dos grânulos de amido (BJORCK et al., 1984). Os mesmos autores afirmam que a liberação de açúcares causada pela extrusão pode aumentar a taxa de hidrólise enzimática com α -amilase, o que poderia explicar a pronunciada queda de viscosidade nas amostras de farinha extrusada.

Para determinar a variação na viscosidade provocada pela hidrólise do amido, os valores dos picos de viscosidade antes e depois da hidrólise foram comparados dentro de cada amostra assim: CFNE com HFNE, CFE2 com HFE2 e CFE3 com HFE3. Adicionalmente, para ter uma ideia da redução da viscosidade de cada amostra, o valor do pico depois da hidrólise foi descontado do valor do pico antes da hidrólise e o resultado foi comparado entre as diferentes amostras (Tabela 7). Os resultados indicaram que, por um lado, houve diferenças significativas nos picos de viscosidade antes e depois da hidrólise para todas as amostras, corroborando que a hidrólise do amido reduziu significativamente a viscosidade nas três amostras de farinha; e por outro lado, a comparação da redução entre as diferentes amostras mostrou que a redução da viscosidade foi maior na FNE (8195,3cP), seguido pela FE2 (3262,33cP) e pela FE3 (2549,3cP) com diferenças significativas entre elas.

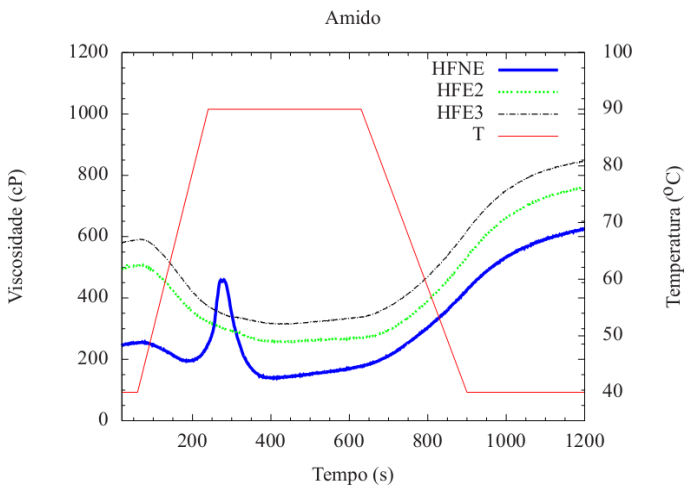
Tabela 7 – Variação do parâmetro “pico de viscosidade” dentro de cada amostra antes e depois da hidrólise do amido

¹ Amostra	² Pico de Viscosidade (cP)	³ Redução da viscosidade (cP) (PV antes da hidrólise-PV depois da hidrólise)
	CFNE	8195,3±16,17(a)
	HFNE	
	CFE2	3262,33±62,60 (b)
	HFE2	
	CFE3	2549,3±20,34 (c)
	HFE3	

Resultados expressos como média ± desvio padrão. ¹CFNE: controle farinha não extrusada; HFNE: farinha não extrusada hidrolisada; CFE2: controle farinha extrusada 2 (80°C,21%);HFE2: farinha extrusada hidrolisada 2 (80°C,21%); CFE3: controle farinha extrusada 3 (140°C,15%); HCFE3: farinha extrusada hidrolisada 3 (140°C,15%);²Asterisco indica diferença significativa ($p > 0,05$, test-t student) dentro de cada amostra (controle+hidrolisado); cP:centipoise; ³Os valores da mesma coluna que não apresentam a mesma letra, diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) sob comparação entre amostras de farinha; cP:centipoise; PV:Pico de viscosidade.

Comparando graficamente as amostras HFNE, HFE2 e HFE3 (Figura 10), é possível observar que com a hidrólise, a viscosidade final foi maior na HFE3 com 845,67cP do que na HFE2 com 761cP, seguido da HFNE com 625cP (Anexo B, Tabela 1), indicando assim, que com a hidrólise do amido, farinhas extrusadas retrogradam mais que as farinhas não extrusadas.

Figura 10 – Perfil de viscosidade das farinhas hidrolisadas depois do tratamento enzimático com α -amilase e amiloglicosidase

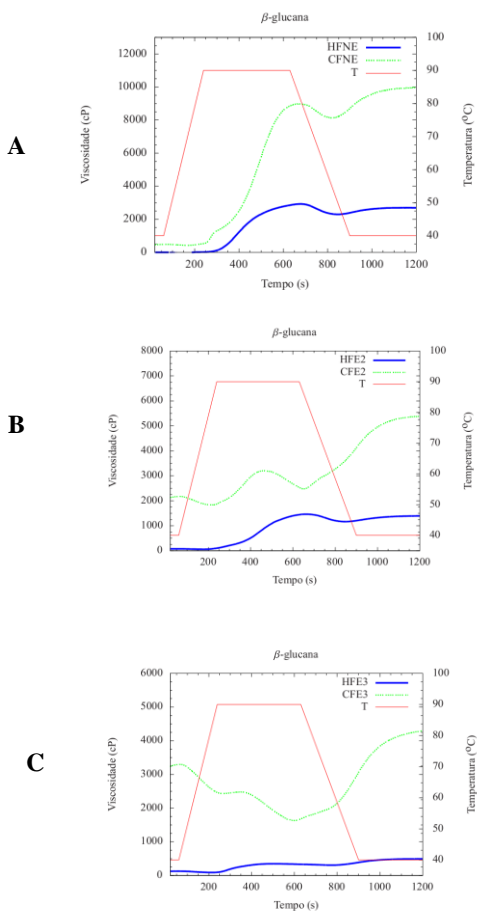


HFNE: farinha não extrusada hidrolisada; HFE2: farinha extrusada 2 hidrolisada (80°C,21%); HFE3: farinha extrusada 3 hidrolisada (140°C,15%); T: temperatura; cP:centipoise; s: segundos; °C: grau Celsius.

4.4.2 Hidrólise das β -glucanas com liquenase

Com a hidrólise das β -glucanas, a viscosidade é atribuída principalmente ao amido e às proteínas. Nesta condição, foram observados picos de viscosidade nas farinhas HFNE e HFE2 produzidos provavelmente pelo amido e a proteína ainda presentes, enquanto que a HFE3 apresentou um perfil sem um pico definido, devido talvez a uma temperatura de extrusão mais alta que pôde ter produzido uma maior degradação do amido (Figura 11).

Figura 11 – Perfil de viscosidade antes e depois da hidrólise das β -glucanas com liquenase



A: Farina não extrusada (HFNE: farinha hidrolisada;CFNE:farinha controle); **B:** Farinha extrusada 2, 80°C+21%; (HFE2: farinha hidrolisada 2; CFE2: farinha controle 2); **C:** Farinha extrusada 3,140°C+15%); (HFE3: farinha hidrolisada 3; CFE2: farinha controle 3); T: temperatura; cP:centipoise; s: segundos; °C: grau Celsius

Para corroborar que o pico presente após a hidrólise pode ser atribuído ao efeito conjunto do amido e das proteínas, a Tabela 8 mostra os resultados obtidos da eficiência enzimática da degradação das β -glucanas após a hidrólise, sendo de 92,07% para a FNE, de 92,81 para a FE2 e de 93,71% para a FE3.

Tabela 8 – Percentagem de eficiência enzimática da hidrólise das β -glucanas




¹ Amostra	% β -glucana antes da hidrólise	% β -glucana depois da hidrólise	%Eficiência enzimática
FNE	3,65 \pm 0,05	0,29 \pm 0,02	92,07 \pm 0,45
FE2	3,57 \pm 0,05	0,26 \pm 0,06	92,81 \pm 1,81
FE3	3,57 \pm 0,14	0,22 \pm 0,01	93,71 \pm 0,58

Resultados expressos como média \pm o desvio padrão da absorbância de três repetições. ¹FNE: farinha não extrusada; FE: farinha extrusada 2 (80°C, 21%); FE3: farinha extrusada 3 (140°C, 15%)

De outro lado, é possível observar que com a hidrólise das β -glucanas, o tempo para atingir o pico de viscosidade nas farinhas extrusadas hidrolisadas aumentou em relação às farinhas extrusadas controle (Anexo B, Tabela 2) enquanto que na HFNE o tempo não apresentou diferenças significativas. Na ausência das β -glucanas, o amido presente nas amostras é responsável em grande parte pela viscosidade. No perfil de viscosidade das farinhas hidrolisadas (Figura 12), a HFNE e a HFE2 apresentam ainda um pico definido de viscosidade enquanto que a HFE3 não mostrou um pico definido. Os menores picos de viscosidade após a hidrólise nas amostras extrusadas são explicados pela prévia gelatinização do amido que reduz a viscosidade em relação à viscosidade provocada pela gelatinização do amido não modificado da HFNE.

A variação na viscosidade provocada pela hidrólise das β -glucanas foi determinada como no caso do amido (item 4.4.1, Tabela 7), mostrando diferenças significativas nos valores dos picos de viscosidade antes e depois da hidrólise nas três amostras de farinha. Quanto a redução da viscosidade, esta foi maior para a FNE, apresentando uma redução de 6078 cP, seguida da FE3 com uma redução de 2949,67 cP e da FE2 com uma redução de 1982cP (Tabela 9).

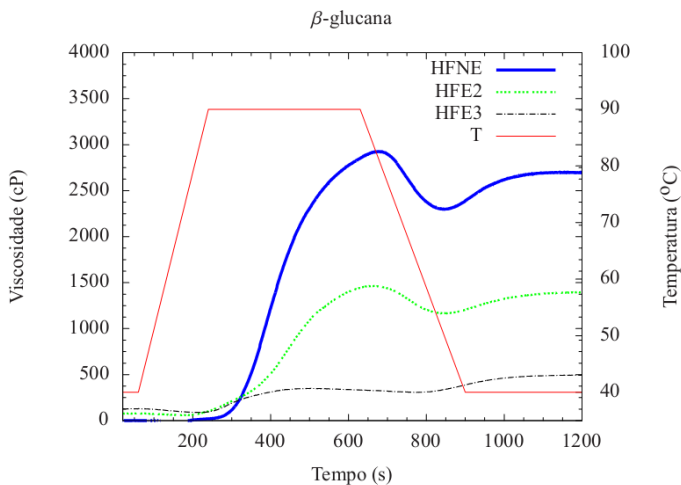
Tabela 9 – Variação do parâmetro “pico de viscosidade” dentro de cada amostra antes e depois da hidrólise das β -glucanas

¹ Amostra	² Pico de Viscosidade (cP)	³ Redução da viscosidade (cP) (PV antes da hidrólise-PV depois da hidrólise)
	CFNE	6078,0±48,38(a)
	HFNE	
	CFE2	1982,0±83,71 (b)
	HFE2	
	CFE3	2949,67±86,95 (c)
	HFE3	

Resultados expressos como média \pm desvio padrão. ¹CFNE: controle farinha não extrusada; HFNE: farinha não extrusada hidrolisada; CFE2: controle farinha extrusada 2 (80°C,21%);HFE2: farinha extrusada hidrolisada 2 (80°C,21%); CFE3: controle farinha extrusada 3 (140°C,15%); HCFE3: farinha extrusada hidrolisada 3 (140°C,15%);²Asterisco indica diferença significativa ($p>0,05$, test-t student) dentro de cada amostra (controle+hidrolisado); cP:centipoise; ³Os valores da mesma coluna que não apresentam a mesma letra, diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p<0,05$) sob comparação entre amostras de farinha; cP:centipoise; PV:Pico de viscosidade.

A Figura 12, compara graficamente as amostras HFNE, HFE2 e HFE3, ilustrando que a viscosidade final foi menos afetada pela hidrólise na HFNE (2696,67 cP) seguido pela HFE2 (1394,33 cP) e pela HFE3 (494 cP) (Anexo B, Tabela 2). Este resultado indica que com a hidrólise das β -glucanas, a retrogradação é mais marcada em farinhas não extrusadas que em farinhas extrusadas.

Figura 12 – Perfil de viscosidade das farinhas hidrolisadas depois do tratamento enzimático com liquenase

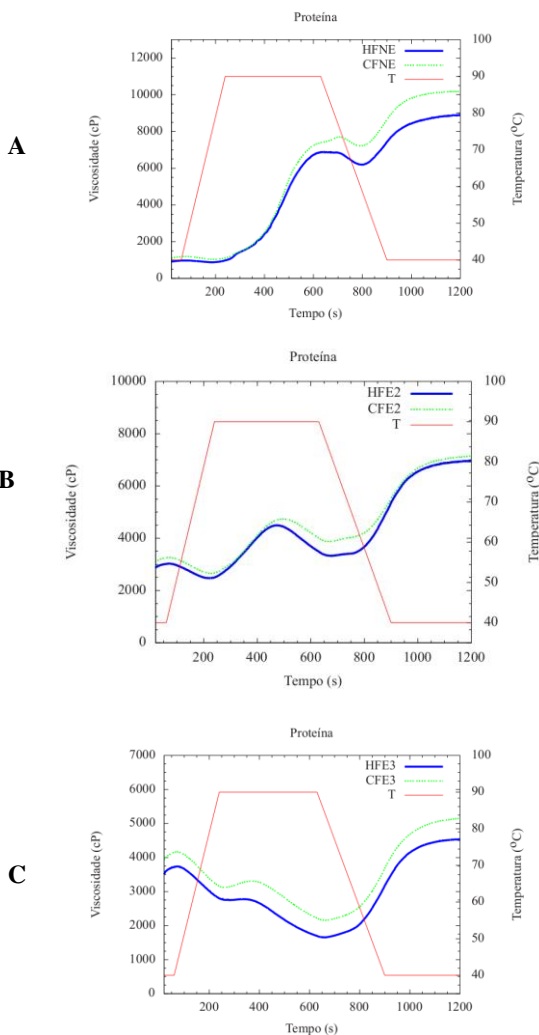


HFNE: farinha não extrusada hidrolisada; HFE2: farinha extrusada 2 hidrolisada (80°C,21%); HFE3: farinha extrusada 3 hidrolisada (140°C+15); T: temperatura; cP:centipoise; s: segundos; °C: grau Celsius

4.4.3 Hidrólise das proteínas com protease

Com as proteínas hidrolisadas, os principais componentes que contribuem à viscosidade são o amido e as β-glucanas. Nesta condição, a viscosidade diminuiu para todas as farinhas, mas sem diferenças significativas entre os valores dos picos de viscosidade, indicando que a proteína não tem uma influência significativa no aumento da viscosidade (Figura 13).

Figura 13 – Perfil de viscosidade antes e depois da hidrólise da proteína com protease



A: Farinha não extrusada (HFNE: farinha hidrolisada;CFNE:farinha controle); **B:** Farinha extrusada 2 (80°C,21%); (HFE2: farinha hidrolisada 2; CFE2: farinha controle 2); **C:** Farinha extrusada 3 (140°C,15%); (HFE3: farinha hidrolisada 3; CFE2: farinha controle 3); T: temperatura; cP:centipoise; s: segundos; °C:grau Celsius

Para corroborar que o pico presente após a hidrólise pode ser atribuído ao efeito conjunto do amido e das β -glucanas, a tabela 10 mostra os resultados obtidos da eficiência enzimática da degradação das proteínas após a hidrólise, sendo de 71,25% para o FNE, de 79,02% para o FE2 e de 90,58% para o FE3.

Tabela 10 – Percentagem de eficiência enzimática da hidrólise das proteínas

¹ Amostra	%Proteína antes da hidrólise (método Khleldal)	Proteína depois da hidrólise (mg/g) (método Bradford)	%Eficiência enzimática
FNE	18,02±0,45	5,17±0,61	71,25±3,80
FE2	17,03±0,17	3,57±0,19	79,02±0,93
FE3	17,97±0,26	1,69±0,14	90,58±0,66

Resultados expressos como média \pm o desvio padrão da absorbância de três repetições. ¹FNE: farinha não extrusada; FE: farinha extrusada 2 (80°C, 21%); FE3: farinha extrusada 3 (140°C, 15%).

A variação na viscosidade provocada pela hidrólise das proteínas foi determinada como no caso do amido e das β -glucanas, mostrando diferenças significativas nos valores dos picos de viscosidade antes e depois da hidrólise somente nas amostras HFNE e HFE3, diferente da amostra HFE2 que não apresentou diferenças no pico depois da hidrólise. Estes resultados podem ser visualizados na Figura 13 que permite visualizar as semelhanças entre o perfil de viscosidade antes e depois da hidrólise sem maiores mudanças. Quanto à redução da viscosidade, esta foi maior para a FNE, apresentando uma redução de 788,33 cP, seguida da FE3 com uma redução de 434,3 cP e da FE2 com uma redução de 256,33cP (Tabela 11).

Tabela 11 – Variação do parâmetro “pico de viscosidade” dentro de cada amostra antes e depois da hidrólise das β -glucanas

¹ Amostra	² Pico de Viscosidade (cP)	³ Redução da viscosidade (cP) (PV antes da hidrólise-PV depois da hidrólise)
CFNE	7711±215,93*	788,33(a)
HFNE	6922,67±271,72*	
CFE2	4757,33±253,65ns	256,33±166,17 (a)
HFE2	4501,00±69,54ns	
CFE3	4176,00±104,46*	434,3±56,22 (a)
HFE3	3741,67±36,07*	

Resultados expressos como média \pm desvio padrão. ¹CFNE: controle farinha não extrusada; HFNE: farinha não extrusada hidrolisada; CFE2: controle farinha extrusada 2 (80°C,21%);HFE2: farinha extrusada hidrolisada 2 (80°C,21%); CFE3: controle farinha extrusada 3 (140°C,15%); HCFE3: farinha extrusada hidrolisada 3 (140°C,15%);²Asterisco indica diferença significativa ($p>0,05$, test-t student) dentro de cada amostra (controle+hidrolisado); NS indica diferença não significativa ($p>0,05$, test-t student).cP:centipoise; ³Os valores da mesma coluna que não apresentam a mesma letra, diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p<0,05$) sob comparação entre amostras de farinha; cP:centipoise; PV:Pico de viscosidade.

4.5 CONTRIBUIÇÃO DOS TRATAMENTOS ENZIMÁTICOS NA REDUÇÃO DA VISCOSIDADE

Segundo Yao e colaboradores (2011), o amido e outros carboidratos solúveis são os principais contribuintes para a viscosidade de suspensões à base de cereais. Zhou et al., (2000), avaliando vários tratamentos enzimáticos para avaliar o efeito da hidrólise das β -glucanas e as proteínas, encontraram que as β -glucanas são responsáveis em grande parte pela formação de pasta de suspensões de aveia, enquanto que as proteínas apresentaram uma menor contribuição.

No presente trabalho, para avaliar a contribuição de cada tratamento enzimático na redução da viscosidade das farinhas, o valor médio da diminuição do pico de viscosidade causada pela hidrólise do amido, das α -glucanas e das proteínas, foi comparado entre as diferentes amostras (Tabela 12). Essa comparação mostrou, com diferenças

significativas, que para a amostra HFNE, a contribuição na queda de viscosidade foi: tratamento para hidrólise do amido > tratamento para hidrólise das β -glucanas > tratamento para hidrólise das proteínas. Para a amostra HFE2, os dados mostraram a mesma tendência. Porém, para a amostra HFE3, a contribuição dos tratamentos foi: tratamento para hidrólise das β -glucanas > tratamento para hidrólise do amido > tratamento para hidrólise das proteínas.

Estes resultados mostram que para farinhas não extrusadas, o amido foi o componente que apresentou a maior contribuição na queda da viscosidade, seguido pelas β -glucanas e pelas proteínas. A contribuição desses componentes teve a mesma tendência no caso da farinha extrusada a 80°C+21% de umidade (HFE2), enquanto que para a farinha extrusada a 140°C+15% de umidade (HFE3), as β -glucanas apresentaram a maior contribuição, seguida do amido e das proteínas. O comportamento diferente no caso da HFE3, poderia talvez ser justificado pela maior destruição dos grânulos de amido produzidos por uma temperatura de extrusão mais alta. Para as três amostras, a proteína apresentou a menor contribuição na redução da viscosidade, demonstrando sua pouca influência na viscosidade em comparação com o amido e as β -glucanas.

Tabela 12 – Contribuição dos tratamentos enzimáticos na redução da viscosidade

Tratamento enzimático	¹ Pico de viscosidade (cP)		
	² Amostras		
	HFNE	HFE2	HFE3
Amido	8195±16,17 a	3262,3±62,6 a	2549,3±20,34 b
B-glucana	6078,0±48,38 b	1982±83,95 b	2949,67±86,95 a
Proteína	788,33±156,6 c	256,33±166,17 c	434,3±56,22 c

Resultados expressos como média \pm desvio padrão; ¹cP:centipoise; ²HFNE:farinha não extrusada hidrolisada; HFE2: farinha extrusada hidrolisada 2 (80°C,21%); HFE3: farinha extrusada hidrolisada 3 (140°C,15%);os valores da mesma coluna que não apresentam a mesma letra, diferem significativamente pelo teste de Tukey (p<0,05) sob comparação entre tratamentos enzimáticos

5 CONCLUSÕES

1. O processo de extrusão diminuiu de maneira significativa a viscosidade da farinha de aveia em função do tempo e da temperatura
2. Entre as variáveis independentes estudadas, a umidade demonstrou ter uma influência positiva no aumento da viscosidade
3. O processo de extrusão favorece a gelatinização do amido provocando mudanças no perfil de viscosidade de amostras de farinha de aveia
4. Em farinha de aveia não extrusada, o amido é o componente que mais contribui ao aumento da viscosidade de suspensões de aveia, seguido pelas β -glucanas e pelas proteínas
5. Em farinhas extrusadas, a contribuição para a viscosidade dos componentes avaliados variou com as condições de extrusão: na FE2 (80°C+21%) o amido foi o componente que mais contribuiu à viscosidade, enquanto que na FE3 (140°C+15%) as β -glucanas foram o componente que mais contribuiu
6. Dos componentes avaliados, a proteína apresentou a menor contribuição para a viscosidade em todas as farinhas avaliadas
7. O tratamento enzimático modifica notavelmente os perfis de viscosidade das farinhas de aveia extrusadas e não extrusadas, especialmente quando o amido é o componente hidrolisado

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As diferenças no perfil de viscosidade entre farinhas de aveia extrusadas e não extrusadas provocadas pela influência das condições de extrusão oferecem informações importantes para o desenvolvimento de produtos extrusados elaborados à base de aveia. Portanto, sugere-se estudar outras combinações de tratamento que permitam avaliar e otimizar o processo de extrusão. Adicionalmente, a caracterização física dos extrusados é aconselhável para ter informação acerca dos efeitos do processamento na textura dos produtos finais.

O tratamento enzimático para hidrolisar o amido, as β -glucanas mostrou uma influência diferente na amostra de farinha extrusadas a maior temperatura. Essas diferenças poderiam ser usadas na extrusão de aveia para modificar as propriedades de viscosidade dos produtos finais. Da mesma forma, tendo em conta que a extrusão é uma tecnologia versátil, a hidrólise dos componentes que contribuem à viscosidade da aveia poderia ser realizada durante o processo de extrusão, obtendo assim, produtos com qualidade final melhorada como tem sido reportado para muitos estudos na área da panificação.

Para provocar a hidrólise dos componentes avaliados, foram empregadas enzimas analíticas; porém para aplicação na indústria, sugere-se o uso de enzimas industriais.

REFERÊNCIAS

- AACC (American Association of Cereal Chemists). **Approved Methods**, volume I, Ninth edition, 1995.
- AMARAL, L.; DA SILVA FILHO, F. **Sistemática Vegetal II Estudo das Plantas Vasculares**. Universidade aberta do Brasil. Ministério da Educação. 2010. 162 p.
- ANTTILA, H.; STROHM, T.; SALOVAARA. Viscosity of beta-glucan in oat products. **Journal of Agricultural and Food Science**, n.12, p.80-87, 2004.
- ALVIM, I.; SCARBIERI, V.; CHANG, Y. Desenvolvimento de farinhas mistas extrusadas à base de farinha de milho, derivados de levedura e caseína. **Ciência e Tecnologia Alimentar**, Campinas, v. 22, p. 170-176, 2002.
- ANDERSON, J.W; BRIDGES, S.R. Hypocholesterolemic effects of oat bran in humans. In: WOOD, P.J. **Oat bran**. American Association of Cereal Chemist, Inc., p. 139-157, 1993.
- BEBER, R., DE FRANCISCO, A.; ALVES, A.; DE Sá, R.; OGLIARI, P. Caracterização química de genótipos brasileiros de aveia (*Avena sativa* L.). **Acta Científica Venezolana**, v. 53, n. 3, 2002.
- BHATTY, R.S. Total and Extractable β -Glucan Contents of Oats and their Relationship to Viscosity. **Journal of Cereal Science**, v. 15, p. 185-192, 1992.
- BERMÚDEZ, A. Elaboración de productos alimenticios com fibra. La experiencia en Colombia. In: LAJOLO, F.; SAURA-CALIXTO, F.; WITTIG DE PENNA, E.; DE MENEZES, E. **Fibra dietética en Iberoamérica: Tecnología y Salud Obtención, caracterización, efecto fisiológico e aplicación en alimentos**. São Paulo: Varela, 2001. 469p
- BJORCK, I.; ASP, N.-G.; BIRKHED, D.; LUNDQUIST, I. Effects of processing on availability of starch for digestion in vitro and in vivo; I extrusion cooking of wheat flours and starch. **Journal of Cereal Science**, v. 2, p.91-103, 1984.

BHATTACHARYA, S.; SUDHA, M.; RAHIM, A. Pasting characteristics of an extruded blend of potato and wheat flours. **Journal of Food Engineering**, v. 40, p. 107-111, 1999.

BORBA, A., SARMENTO, S., LEONEL, M. Efeito dos parâmetros de extrusão sobre as propriedades funcionais de extrusados da farinha de batata-doce. **Ciência e Tecnologia Alimentar**. Campinas, v. 25, n. 4, p. 835-843, 2005.

BRAATEN, J.; WOOD, P.; SCOTT, F.; WOLYNETZ, M.; LOWE, M.; WHITE, P.; COLLINS, M. Oat β -glucan reduces blood cholesterol concentration in hipercholesterolemic subjects. **European Journal of Clinical Nutrition**, Ottawa, v.48, n7, p. 465-474, 1994.

BRADFORD, M. M. **A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding**. Analytical Biochemistry, v. 72, p. 248, 1976.

BRASIL, 2008. ANVISA (Agência nacional de vigilância sanitária), Brasil. **Lista de Alegações de Propriedade Funcional Aprovadas**. 2008.

BRASIL, 1998. ANVISA (Agência nacional de vigilância sanitária), Brasil. **Portaria No. 41 de 14 de janeiro de 1998**. Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância Sanitária.

BRENNAN, J.; BUTTERS, J.; COWELL, N.; LILLEY, A. **Las operaciones de la ingeniería de los alimentos**. Editorial Acribia, 1998, 714 p.

BRENNAN, C; LOUISE, J. The potential use of cereal (1/3,1/4)- β -D-glucans as functional food ingredients. **Journal of Cereal Science**, v.42, p. 1-13, 2005.

BRUMMER, Y.; CUI, S.W. Understanding Carbohydrate Analysis. In: CUI, S.W. **Food Carbohydrates Chemistry, Physical Properties, and Applications**. New York: Taylor & Francis Group, 2005,411p.

CARVALHO, N.; NAKAGAWA, J. **Sementes ciência, tecnologia e produção**. Brasil: Funep, 2000. 588 p.

CHIANG, B.-Y.; JOHNSON, J.A. Gelatinization of starch in extruded products. **Cereal chemistry**, v.54, n.3, p.436-443, 1977.

CLERICI, M. Physical and/or Chemical Modifications of Starch by Thermoplastic Extrusion. In: EL-SONBATI, A. **Thermoplastic Elastomers, InTech**, 2012. 416p. Disponível em: <http://www.intechopen.com/books/thermoplastic-elastomers/physical-and-or-chemical-modifications-of-starch-by-thermoplastic-extrusion>

In: LAJOLO, F.; SAURA-CALIXTO, F.; WITTIG DE PENNA, E.; DE MENEZES, E. **Fibra dietética en Iberoamérica: Tecnología y Salud Obtención, caracterización, efecto fisiológico e aplicación en alimentos**. São Paulo: Varela, 2001. 469p

COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE AVEIA. **Indicações técnicas para cultura da aveia**. Fundação agrária de pesquisa agropecuária-FAPA, Guarapuava, 2006, 82 p.

COULTATE, T.P. **Alimentos a química de seus componentes**, 3^a edição, São Paulo: Artmed Editora S.A., 2004. 368p.

CRIVARO, N. O.; APÓSTOLO, N. M.; CALLONI, S.; LORENZO, E; VIÑALES, L.; GUALDIERI, P. Reconocimiento de alimentos vegetales: caracterización micro-gráfica del grano de avena. **Ciência e Tecnologia Alimentar**, Campinas, v. 26, n. 2, p. 297-302, abr-jun. 2006.

CROSBIE, G.; ROSS, A., **The RVA Handoobk**. AACC International. 2007. 150p.

CRUZ, R.; KOBLITZ, M. Grãos, cereais e leguminosas. In: KOBLITZ, M. **Matérias-primas alimentícias: composição e controle de qualidade**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan Ltda, 2011, 301p.

DANIEL, A. **Emprego de fibras e amido de aveia (Avena sativa L.) modificado em produtos cárneos**. 2006. 91p. Dissertação (Mestrado

em Ciência e Tecnologia dos alimentos) Univerisade Federal de Santa Maria.

DAVIDSON, M.H.; MD; DUGAN, L.D.; RD, MS.; BURNS, J.H.; BOVA, J.; (ASCP), M; STORY, K; DRENNAN, K.B. The hypocholesterolemic effects of β -glucan in oatmeal and oat bran. **Journal of the American Medical Association**, v. 265, n.14, p. 1833-1839, 1991.

DELCOUR, J.; HOSENEY, R. **Principles of Cereal Science and Technology**. Minesota: AACC International, Third Edition, 2010. 270 p.

DERGAL, S. **Química de los Alimentos**. México: Alhambra. 1990. 648p.

DE Sá, R.M.; DE FRANCISCO, A.; SOARES, F.C.T .Concentração de β -glucanas nas diferentes etapas do processamento da aveia. **Ciência e Tecnologia Alimentar**, v.18, n. 4, p. 425-427, 1998.

DE FRANCISCO, A.; DE Sá, R.M. Beta-glucanas: Localização, propiedades e utilização. In: **Fibra dietética en Iberoamérica: tecnología y salud. Obtención, caracterizaión, efecto fisiológico y aplicación en alimentos**. São Paulo: Varela Ltda, 2001. P. 91-101.

DE FRANCISCO, A.; DE SÁ, R.M. **Aveia e seus produtos, beta-glucanas e alimentos funcionais: evidências científicas**. 2000. 53p. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

DO NASCIMENTO, K.; WANG, S.; ASCHERI, J.; CARVALHO, C. Propriedades de pasta de farinhas de trigo-soja pré-cozidas por extrusão. **Alimentos e nutrição, Araraquara**, v. 18, n. 4, p. 387-395, 2007.

DOS SANTOS, L.; KOBLITZ, M. Proteases. In: KOBLITZ, M. **Bioquímica de alimentos**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008. 242 p.

EL-DASH, A.; GONZALES, R., CIOL, M. Response surface methodology in the control of thermoplastic extrusion of starch. **Journal of Food Engineering** 2, p. 129-152, 1983.

FENNEMA, O; DAMODARAN, S.; PARKIN K. **Química de alimentos de Fennema**. Porto Alegre: Artmed, 2010. 900p.

FELLOWS, P. **Tecnología del procesado de los alimentos: principios y prácticas**. Zaragoza, España: Acribia, S.A. 549p. 1994

FLOSS, E.L. **Uso da aveia na nutrição humana**. Universidade de Passo Fundo (UPF) Editora, 2005, 149 p.

FULCHER,R; WONG, S., Inside cereals-A fluorescence microchemical view. In: **Cereals for Food na Beverages**. New York: Academic Press, 1980. 557p.

GALDEANO, M. C. **Filmes e laminados biodegradáveis de amido de aveia com diferentes plastificantes, produzidos por castinge extrusão**.2007. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos) Universidade Estadual de Londrina.

GUTKOSKI, L.C.; EL-DASH, A.A.. Effect of extrusion process variables on physical and chemical properties of extruded oat products. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 54, p. 315-325, 1999.

GUTKOSKI, L.; TROMBETTA, C. Avaliação dos teores de fibra alimentar e de beta-glicanas em cultivares de aveia (*Avena sativa* L). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 19, n. 3, p. 387-390, 1999.

HAGENIMANA, A.; DING, X.; FANG, T. **Evaluation of rice flour modified by extrusion cooking**. Journal of Cereal Science, v.43, p.38-46, 2006.

HOOVER, R.; SMITH, C.; ZHOU, Y.; RATNAYAKE, R.M.W.S. **Carbohydrate Polymers**, v. 52, p. 253-261, 2003.

HOSENEY, C. **Principios de Ciencia y Tecnología de los Cereales**. Zaragoza, España: Acribia, S.A., 1991. 321 p.

JUDD, W.; CAMPBELL, C.; KELLOGG, E.; STEVENS, P.; DONOGHUE, M. **Sistemática Vegetal Um Enfoque Filogenético**. Brasil,3ª Edição. 2009. 612 p.

KARAM, L.; GROSSMANN, M.; SILVA, R. Misturas de farinha de aveia e amido de milho com alto teor de amilopectina para produção de “snacks”. **Ciência e Tecnologia Alimentar**, campias, v.21, n.2, 158-163, 2001.

KATZ, I. Maillard, microwave, and extrusion cooking: generation of aromas. In: PARLIMENT, T.; MORELLO, M.; MCGORRIN, R. **Thermally Generated Flavors: Maillard, Microwave, and Extrusion Processes**. American Chemical Society, Washington, DC. 1994. 492p.

KLOBITZ, M.; CRUZ, R. Grãos Cereais e leguminosas. In: KLOBITZ, M. **Matérias-primas Alimentícias Composição e Controle de Qualidade**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2011. 301p.

KLOBITZ, M. Carboidratos. In: KLOBITZ, M. **Bioquímica de alimentos**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008. 242 p.

LIBARDONI, E. **Determinação de glúten em cultivares brasileiros de aveia e produtos derivados**. 2001. 52p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos alimentos) Universidade Federal de Santa Catarina.

LIU, Y.; BAILEY, T.B.; WHITE, P.J. Individual and interactional effects of β -glucan, starch, and protein on pasting properties of oat flours. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.58, p. 9198-9203, 2010.

MADIGAN, M.; MARTINKO, J.; PARKER, J. Brock Biología de los Microorganismos. Madrid:Prentice Hall, 1998. 986 p.

MARLETT, J. A. Comparisons of dietary fiber and selected nutrient compositions of oat and other grain fractions. In: WOOD, P. J. **Oat Bran**. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1993. p. 49-82.

MADEIRA, E. **Produção de macarrão pré-cozido à base de farinha mista de arroz integral e milho para celíacos utilizando o processo de extrusão**. 2007. 102p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

MALI, S.; GROSSMANN, M.; YAMASHITA, F. Filmes de amido: produção, propriedades e potencial de utilização. **Semina: Ciências agrárias**, Londrina, v.31, n.1, 137-156, 2010.

MEGAZYME INTERNATIONAL IRELAND LIMITED, **Total Dietary Fibre Assay Procedure** AOAC Method 991.43, AACC Method 32.07, 32-21,985.29, 32-05, 2009.

MEGAZYME INTERNATIONAL IRELAND LIMITED, **Total Starch Assay Procedure** (Amiloglucosidase/ α -amilase method) AOAC Method 996.11, AACC Method 76.13, 2009.

MEGAZYME INTERNATIONAL IRELAND LIMITED, **Mixed-Linkage Beta Glucan Assay Procedure** (McCleary Method) AOAC Method 32-23, AACC Method 995.16, EBC methods 3.11.1, 4.16.1 and 8.11.1 ICC Standar Method No.168, 2003.

MENEGASSI, B.; LEONEL, M.; MISCHAN, M.; ZAMBELLO, S. Efeito de parâmetros de extrusão na cor e propriedades de pasta de farinha de mandioca-salsa (*Arracacia xanthorrhiza*). **Ciência agrônômica**, Lavras, v.31, n.6, 1780-1792, 2007.

MILLER, S.; FULCHER, R.; SEN, A.; ARNASON, J. Oat endosperm cell walls: Isolation, composition, and comparison with other tissues. **Nonwheat Grains and Products**, Canadá, v.72, n.5, p.421-427, 1995.

MILLER, S. S., VINCENT, D.J., WEISZ, J., FULCHER, R.G. Oat β -glucans: an evaluation of Eastern Canadian cultivars and unregistered lines. **Canadian Journal of Plant Science**, Canadá, v.73, p. 429-436, 1993.

MOSCICKI, L.; ZUILICHEM, D.J.V. Extrusion-cooking and related technique. In: **Extrusion-cooking Techniques: Applications, theory and sustainability**. Germany, Wiley-VCH Verlag & Co, 2011. P. 1-24.

NAVARRETE, P., ESTRADA, R., GUERRERO, C; ANCO, D. Caracterização física de extrudidos preparados con mezclas de harinas de maíz qpm (*Zea mays* L.) y frijón lima (*Phaseolus lunatus* L.). **Revista Mexicana d Ingeniería Química**, v.5, p. 145-155. 2006.

NETO, B.; SCARMINIO, I; BRUNS, R. **Como fazer experimentos**. Porto Alegre: Artmed. 2010. 413p.

PEREDA, J.; RODRÍGUEZ, M.; ÁLVAREZ, L.; SANZ, M., MINGUILLÓN, G.; PERALES, L.; CORTECERO, M. **Tecnologia de alimentos. Componentes dos alimentos e procesos**. São Paulo: Artmed. 2007. 294p.

PAK, N. Fibra dietética en alimentos chilenos. In: LAJOLO, F.; SAURA-CALIXTO, F.; WITTIG DE PENNA, E.; DE MENEZES, E. **Fibra dietética en Iberoamérica: Tecnología y Salud Obtención, caracterización, efecto fisiológico e aplicación en alimentos**. São Paulo: Varela, 2001. 469p.

PEDÓ, I. Composição química. In: **Aveia, composição química, valor nutricional e processamento**. São Paulo: Varela Ltda, 2000. p. 41-75.

PINHEIRO, D. Introdução. In: KOBLITZ, M. **Bioquímica de alimentos**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008. 242 p.

RUANO, J. **Caracterização Físico-Química de Filmes Biodegradáveis de Farinha de Mandioca e Proteína de Soja por Extrusão**. 2009. 86p. Dissertação (Mestrado em Ciências) Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

SÁ, G. Utilização da aveia na alimentação animal. Circular N° 87. Instituto Agronômico do Paraná IPAR, Londrina, 1995.

SCHRICKEL, D. Oats production, value, and use. In: **Oats, Chemistry and Technnology**. Estados Unidos: American Association of Cereal Chemist, Inc. p. 1-12, 1986.

SEBIO, L. **Efeito de alguns parâmetros operacionais de extrusão nas propriedades físico-químicas da farinha de inhame (Dioscorea rotundata)**. 1996. 106p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) Universidade Estadual de Campinas.

SILVA, M.; THIRÉ, R.; PITA, V.; CARVALHO, C.; ANDRADE, C. Processamento de amido de milho em câmara de mistura. **Ciência e Tecnologia Alimentar**, v. 24, p. 303-310, 2004.

SIMIONI, D.; WEBBER, F.; GUTKOSKI, L.; ELIAS, M.; OLIVEIRA, L.; AOSANI, E. Caracterização química de cariopses de aveia branca. **Alimentos e nutrição, Araraquara**, v. 18, n. 2, p. 191-196, 2007.

SOUZA, V.; LORENZI, H. **Botânica Sistemática**. Guia ilustrado para identificação das famílias de Fanerógamas nativas e exóticas no Brasil, baseado em APG II. 2ª Edição. Instituto Plantarum de Estudos da Flora Ltda, Avenida Brasil, 2008. 704 p.

SVIHUS, B.; UHLEN, A.K.; HARSTAD, O.M. Effect of starch granule structure, associated components and processing on nutritive value of cereal starch: a review. **Animal Feed Science and Technology**, v.122, p. 303-320, 2005.

STEEL, C.; LEORO, M.; SCHMIELE, M.; FERREIRA, R.; CHANG, Y. Thermoplastic Extrusion in Food Processing. In: KRICHELDORF, H.; HOLDEN F.; QUIRK, R.; **Thermoplastic Elastomers**. Hanser Gardner Pubns, 3 edition, 2004. 540 p.

TEBA, 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**. 2009. 177p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de alimentos) Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

THOMAS, D.J.; ATWELL, W.A. **Starches: practical guides for the food industry**. American Association of Cereal Chemists, Inc, 1999, 94p.

TORRES, L.; EL-DAS, A.; CARVALHO, C.; ASCHERI, J.; GERMANI, R.; MIGUEZ, M. Efeito da umidade e da temperatura no processamento de farinha de banana verde (*Musa acuminata*, grupo AAA) por extrusão termoplástica. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, v.23, n.2, p.273-290, 2005

TUDORICA, C.M.; JONES, T.E.R.; KURI, V.; BRENNAN, C.S. The effects of refined barley β -glucan on the physico-structural properties of low-fat dairy products: curd yield, microstructure, texture and rheology. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. V. 84, p. 1159-1169, 2004.

WANG, L.Z.; WHITE, P.J. Structure and physicochemical properties of starches from oats with different lipid contents. **Cereal Chemistry**, v. 71, n. 5, p. 443-450, 1994a.

WANG, L.Z.; WHITE, P.J. Functional properties of oat starches and relationships among functional and structural characteristics. **Cereal Chemistry**, v. 71, n. 5, p. 451-458, 1994b.

WEBER, F.; GUTKISKI, L.; ELIAS, M. Caracterização química de cariopses de aveia (*Avena sativa L*) da cultivar UPF18. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas.; v. 22, n. 1, p. 39-44, 2002.

WEBSTER, F.H. Oat utilization: past, present, and future. In: WEBSTER, F.H. **Chemistry and technology**. American Association of Cereal Chemists, Inc. 1986. p. 413-426.

WOOD P.J. Oat β -glucan: structure, location, and properties. In: WEBSTER, F. **Oats, Chemistry and Technnology**. Estados Unidos: American Association of Cereal Chemist, Inc. 1986. 433 p.

WOOD, P.J.; WEISZ, J; FEDEC, P. Potential for β -glucans enrichment in brans derived from oat (*Avena sativa L.*) cultivars of different (1-3), (1-4)- β -D-glucan concentrations. **Cereal Chemistry**, v. 1, p. 48-51, 1991.

WOOD, P.J. Physicochemical characteristics and physiological properties of oat (1-3), (1-4)- β -D-glucan. In: WOOD, P.J. **Oat bran**. Saint Paul: American Association of Cereal Chemist, Inc. 1993. 164 p.

YAO, N.; WHITE, P. J.; ALAVI, S. Impact of β -glucan and other oat flour components on physico-chemical and sensory properties of extruded oat cereals. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 46, p. 651-660, 2011.

ZAMORA, A. **Carboidratos o Glúcidos-Estructura Química**. Disponível em <http://www.scientificpsychic.com/fitness/carboidratos1.html>. Acesso em 21 de maio de 2013.

ZARAGOZA, M.; PÉREZ, R.; NAVARRO, Y. Propiedades funcionales y metodologia para su evaluación e fibra dietética. In:

LAJOLO, F.; SAURA-CALIXTO, F.; WITTIG DE PENNA, E.; DE MENEZES, E. **Fibra dietética en Iberoamérica: Tecnología y Salud Obtención, caracterización, efecto fisiológico e aplicación en alimentos**. São Paulo: Varela, 2001. 469p.

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

ZHANG, M; LIANG, Y.; PEI, Y.; GAO, W.; ZHANG, Z. Effect of process on physicochemical properties of oat bran soluble dietary fiber. **Journal of Food Science**, v. 74, n. 8, 2009.

ZHOU, M.; ROBARDS, K.; GLENNIE-HOLMES, M.; HELLIWELL, S. Effects of enzyme treatment and processing on pasting and thermal properties of oats. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 80, 1486-1494, 2000.

ZHOU, M.; ROBARDS, K.; HOLMES, M.; HELLIWELL, S. Structure and pasting properties of oat starch. **Cereal chemistry**, v.75, n.3, p. 273-281,1998.

ANEXO A – Curva padrão de proteína pelo método de Bradford

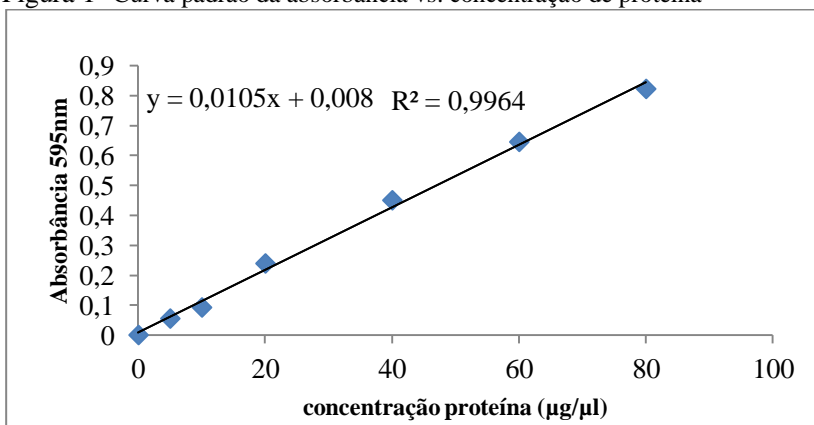
Para avaliar a degradação de proteína depois da hidrólise com protease, a determinação de proteína nas amostras hidrolisadas, foi realizada seguindo o método de Bradford. Para isso, foi construída a curva padrão de concentração de proteína obtida a partir da solução de soro de albumina bovina (BSA $\mu\text{g}/\mu\text{l}$):

Tabela 1- Curva de concentração de proteína com o reativo Bradford

Concentração de proteína μg	Absorbância 595 nm (Média de da leitura de três repetições)	Reativo de Bradford ml	BSA ($1\mu\text{g}/\mu\text{l}$) μl	Água μl	HCl 0,1N μl	Sol. Solubilização μl (tampão MÊS/TRIS pH 8,2)
0	0	3.5	0	85	10	5
5	0,055	3.5	5	80	10	5
10	0,092	3.5	10	75	10	5
20	0,239	3.5	20	65	10	5
40	0,45	3.5	40	45	10	5
60	0,645	3.5	60	25	10	5
80	0,822	3.5	80	5	10	5

Baseado nos dados obtidos foi construída a curva de concentração vs absorbância:

Figura 1- Curva padrão da absorbância vs. concentração de proteína



As amostras hidrolisadas e descongeladas foram pesadas (0,1g) e diluídas em 400µl de tampão MÊS-TRIS pH 8,2. Um volume de 30 µl foi utilizado para realizar a leitura no espectrofotômetro. A absorbância resultante foi usada para calcular a concentração de proteína mediante a equação 1 da reta:

$$y= ax+b \quad (1)$$

Isolando x, temos: $x= y-b/a$

Onde:

x= concentração em µg/ml de proteína

y= absorbância da amostra em 595nm

b= valor da interseção da equação da reta

a= valor da pendente da equação da reta

Substituindo os valores na equação 1, temos:

$$\text{Concentração de proteína} = (\text{Abs}_{595\text{nm}} - 0,008) / 0,0105$$

Tabela 2- Leitura da absorbância das amostras hidrolisadas para cálculo de proteína

¹ Amostra	Absorbância 595 nm (Média da leitura de 3 repetições)	Concentração de proteína calculada µg/30µl	Concentração de proteína em solução de solubilização (MÊS TRIS pH 8,2) µg/400µl	Concentração de proteína final mg/g
HFNE	0,591±0,07	38,91±4,82	517,3±61,23	5,17±0,61
HFE2	0,409±0,02	26,75±1,45	357,47±19,06	3,57±0,19
HFE3	0,198±0,02	12,68±1,07	169,33±14,05	1,69±0,14

¹HFNE: Farinha não extrusada hidrolisada; HFE2: Tratamento 2 hidrolisado;
HFE3: Tratamento 3 hidrolisado

ANEXO B – Comparação das propriedades viscosográficas antes e depois das hidrólises dentro de cada amostra de farinha

Tabela 1- Variação nos parâmetros de viscosidade antes e depois do tratamento enzimático com α -amilase e amilglicosase

¹ Amostra	² PV(cP)	² TPV (min)	² Vmin (cP)	² QV (cP)	² VF(cP)	² RT (cP)
³ Média±desvio padrão						
CFNE	8658,33±31,21*	7,90±0,03*	4191,33±55,77*	4467,00±35,34*	8783,67±28,29*	4592±32,72*
HFNE	463,00±3,61*	4,52±0,07*	138,33±0,58*	324,67±3,79*	625,00±5,00*	486,67±5,03*
CFE2	3770,67±119,48*	5,91±0,05*	1238,33±57,40*	2532,33±143,32*	4091,67±38,84*	2853,33±71,93*
HFE2	508,33±11,06*	1,14±0,02*	254,33±5,69*	254,00±6,08*	761,00±4,58*	506,67±2,52*
CFE3	3142,00±15,72*	1,14±0,03*	1600,00±52,89*	1542,00±66,14*	4538,67±205,43*	2938,67±175,25*
HFE3	592,67±21,96*	1,04±0,01*	313,00±14,73*	279,67±7,23*	845,67±18,50*	532,67±4,04*

Resultados expressos como média ± desvio padrão. ¹CFNE: controle farinha não extrusada; HFNE: farinha não extrusada hidrolisada; CFE2: controle farinha extrusada 2 (80°C,21%);HFE2: farinha extrusada hidrolisada 2 (80°C,21%); CFE3: controle farinha extrusada 3 (140°C,15%); HCFE3: farinha extrusada hidrolisada 3 (140°C,15%); ²PV:Pico de viscosidade; min:minuto; cP:centipoise
³Asterisco indica diferença significativa ($p>0,05$, test-t student) dentro de cada amostra (controle+hidrolisado)

Tabela 2- Variação nos parâmetros de viscosidade antes e depois do tratamento enzimático com liquenase

¹ Amostras	² PV(cP)	TPV (min)	Vmin (cP)	QV (cP)	VF(cP)	RT (cP)
³ Média de três repetições±desvio padrão						
CFNE	9005,67±201,26*	11,11±0,36ns	8124,00±46,81*	881,67±169,36ns	9950,33±162,30*	1826,33±135,39*
HFNE	2927,67±117,58*	11,28±0,13ns	2295,67±125,82*	632,00±11,36ns	2696,67±150,32*	401,00±24,52*
CFE2	3447,00±116,06*	7,70±0,98*	2468,00±412,76*	979,00±331,97*	5386,00±117,46*	2918,00±400,55*
HFE2	1465,00±50,48*	11,11±0,04*	1165,67±53,48*	299,33±5,51*	1394,33±68,04*	228,67±14,57*
CFE3	3300,00±150,43*	1,00±0,03*	1521,33±19,86*	1778,67±146,15*	4286,67±129,94*	2765,33±146,83*
HFE3	350,33±4,51*	8,14±0,22*	307,33±2,08*	43,00±3,46*	494,00±2,65*	186,67±0,58*

Resultados expressos como média ± desvio padrão. ¹CFNE: controle farinha não extrusada; HFNE: farinha não extrusada hidrolisada; CFE2: controle farinha extrusada 2 (80°C,21%);HFE2: farinha extrusada hidrolisada 2 (80°C,21%); CFE3: controle farinha extrusada 3 (140°C,15%); HCFE3: farinha extrusada hidrolisada 3 (140°C,15%); ²PV:Pico de viscosidade; min:minuto; cP:centipoise ³Asterisco indica diferença significativa (p>0,05, test-t student) dentro de cada amostra (controle+hidrolisado);NS indica diferença não significativa (p>0,05, test-t students) dentro de cada amostra (controle+hidrolisado)

Tabela- 3 Variação nos parâmetros de viscosidade antes e depois do tratamento enzimático com protease

	PV(cP)	TPV (min)	Vmin (cP)	QV (cP)	VF(cP)	RT (cP)
Amostra						
	Média de três repetições±desvio padrão					
CFSE	7711±215,93*	11,77±0,07ns	7211,00±144,98*	500,00±89,21ns	10191,67±598,13*	2980,67±454,99ns
HFSE	6922,67±271,72*	10,64±0,48ns	6190,67±159,38*	732,00±118,71ns	8899,00±307,44*	2708,33±349,43ns
CT2	4757,33±253,65ns	8,25±0,25ns	3866,33±342,60ns	891,00±106,06*	7128,67±163,17ns	3262,33±320,71ns
HT2	4501,00±69,54ns	7,89±0,08ns	3326,00±140,80ns	1175,00±103,78*	6958,33±148,18ns	3632,33±201,53ns
CT3	4176,00±104,46*	1,13±0,05ns	2154,67±246,73ns	2021,33±142,44ns	5146,33±238,47*	2991,67±219,03ns
HT3	3741,67±36,07*	1,18±0,01ns	1655,00±17,69ns	2086,67±27,54ns	4534,33±18,82*	2879,33±34,93ns

Resultados expressos como média ± desvio padrão. ¹CFNE: controle farinha não extrusada; HFNE: farinha não extrusada hidrolisada; CFE2: controle farinha extrusada 2 (80°C,21%);HFE2: farinha extrusada hidrolisada 2 (80°C,21%); CFE3: controle farinha extrusada 3 (140°C,15%); HCFE3: farinha extrusada hidrolisada 3 (140°C,15%); ²PV:Pico de viscosidade; min:minuto; cP:centipoise ³Asterisco indica diferença significativa (p>0,05, test-t student) dentro de cada amostra (controle+hidrolisado);NS indica diferença não significativa (p>0,05, test-t students) dentro de cada amostra (controle+hidrolisado)