

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA
AGROINDUSTRIAL



Dissertação

**Aplicação de β -glicana e amido oxidado de aveia em pães
elaborados com farinha de arroz**

Juliane Mascarenhas Pereira

Pelotas, 2011

Juliane Mascarenhas Pereira

**Aplicação de β -glicana e amido oxidado de aveia em pães elaborados com
farinha de arroz**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Agroindustrial da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências

Comitê de orientação: Alvaro Renato Guerra Dias

Moacir Cardoso Elias

Luiz Carlos Gutkoski

Pelotas, 2011

Banca examinadora:

Prof. Dr. Alvaro Renato Guerra Dias

Prof. Dr. Manoel Artigas Schirmer

Prof. Dr. Marcelo Zaffalon Peter

Prof. Dr. Márcia Arocha Gularte

*Aos meus pais, irmãos, meu namorado e meus
amigos, com todo amor ofereço este trabalho!*

Agradecimentos

Agradeço, em primeiro lugar, a Deus pela oportunidade da vida e pela luz que me concedeu, que me serviu de guia em todos os momentos da minha vida;

À minha família, pelo incentivo, apoio e amor incondicional dos meus pais Judith e Jair, dos meus irmãos Jardel e Luciane, Letícia e Fabrizio que sempre estiveram muito presentes e dedicados, em especial à Letícia minha grande amiga, professora e companheira! Aos meus sobrinhos Ricardo, Samuel e Davi pela alegria que me transmitem o que torna os dias mais bonitos! Ao meu namorado André pelo companheirismo, compreensão, amor e dedicação que foram muito importantes para mim. Amo vocês!

À CAPES pela concessão da bolsa e ao PPGCTA pela oportunidade;

À todos os professores do DCTA, pela amizade e pela atenção que nunca faltou, em especial ao meu orientador Prof. Alvaro Dias, pela confiança e por todos momentos de agradável convivência; ao Prof. Moacir Elias por ter me recebido no Laboratório de Grãos e por todo amor e orgulho pela profissão de Engenheiro Agrônomo e pela FAEM, que conseguiu me transmitir ao longo do tempo; ao Prof. Manoel Schirmer pela sua imensa vontade de compartilhar todo o seu conhecimento e ao Prof. César Rombaldi, sempre muito disposto a ajudar;

Ao Marcos Oliveira, secretário do PPGCTA, pela sua grande atenção em todos os momentos e pela amizade.

Aos amigos e colegas de pós-graduação do Laboratório de Grãos, Maurício Oliveira, Rafael Schiavon, Alexandra Morás, Ana Paula Wally, , Jeferson Rocha, Daniel Rutz, Diego Zeni, Fernanda Moura, Flávia Paiva, Bruna Arns, Bruna Klein, Vania Zanela, Lúcia Borges, Joana Sousa e Ricardo Ponthdorf, graças a vocês sempre me senti em casa no local de trabalho. Vocês são muito importantes na minha vida!

Aos grandes colaboradores do LabGrãos, os meus amigos bolsistas ou estagiários que sempre estiveram muito dispostos a me ajudar Nathan Vanier, Ricardo Paraginski, Vinicius Macedo, Marcos Pereira, Alberto Bonh, Cristiano Ferreira e Joaquim Franck. Às meninas que me ajudaram muito a extrair amido e nas análises também Franciene Vilanova, Daniele Brum, Luisa Helena Bammann e Nátalie Olsen;

Agradeço também àqueles amigos que passaram pelo Laboratório, durante o período que aqui estive, e que deixaram muita contribuição para a minha formação e é claro, muita saudade! Elizabeth Helbig, Fernanda Neves, Elvio Aosani, Volnei Menegheti, Leandro Oliveira, Marcelo Peter, Cátia Storck, Elessandra Zavareze, Letícia Assis, Pablo Bueno, Magna Lameiro... a convivência com vocês foi maravilhosa, tenho muito carinho por cada um de vocês! Em especial, à Elessandra que nunca esteve ausente e me ajudou muito, contribuindo durante todo o desenvolvimento deste trabalho com todo seu conhecimento e sua boa vontade infinitos!

À todos que sempre estiveram me dando apoio ou torcendo por mim, agradeço de todo coração!

*Pouco conhecimento faz que as criaturas se sintam orgulhosas;
Muito conhecimento, que se sintam humildes;
É assim que as espigas sem grãos erguem
desdenhosamente a cabeça para o céu, enquanto que
as cheias a baixam para a terra, sua mãe*

Leonardo da Vinci

RESUMO

PEREIRA, J.M. **Aplicação de β -glicana e amido oxidado de aveia em pães elaborados com farinha de arroz.** 2011. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Agroindustrial. Universidade Federal de Pelotas.

O grande consumo de pães aliado à exigência dos consumidores por produtos diferenciados e com propriedades funcionais têm incentivado muitas pesquisas em busca de matérias-primas que atendam às necessidades específicas do mercado. A farinha de arroz é uma alternativa para a diversificação de produtos que venham a atender especialmente à parcela da população que tem alergia ao glúten. Porém, ainda é um desafio tecnológico a panificação com farinha sem glúten. Para isso, ingredientes como amido modificado, gomas, fibras, hidrocolóides e enzimas têm sido usados. Uma opção para produzir pão de boa qualidade com farinha de arroz é o uso de fibra β -glicana, que pode criar um filme na massa capaz de reter o gás gerado durante a fermentação, e de amido modificado, que tenha capacidade de expansão. Sendo assim, este trabalho objetivou avaliar as características de pães elaborados com farinha de arroz adicionada de β -glicana e de amido de aveia oxidado. Para isso, realizaram-se dois experimentos. O primeiro visou a extração, a modificação e a caracterização do amido de aveia. O amido foi extraído de grãos aveia (IAC-7) com NaOH 0,18%, modificado com H₂O₂, em 4 concentrações (0; 0,5; 1,0 e 1,5% p/p) e caracterizado quanto a composição centesimal, teor de amilose, teor de carbonila e de carboxila, poder de inchamento (PI), solubilidade, geleificação, textura de gel e propriedades térmicas. O segundo experimento visou aplicar a β -glicana extraída de farelo de aveia e o amido nativo e modificado, nos pães. No delineamento experimental, variou-se a β -glicana em 3 níveis (0, 1 e 3%) e o amido em 3 concentrações (0, 10 e 20%) e 4 níveis de oxidação. Foram avaliados a capacidade de absorção de água (CAA), PI, solubilidade, geleificação, textura de gel e da massa, volume específico, perda de peso ao assar, textura e cor do miolo. No primeiro experimento, obteve-se 31,5% de rendimento de extração de amido. A oxidação promoveu a formação de grupos carbonílicos e carboxílicos, reduziu o PI e a solubilidade, aumentou a dureza, a adesividade e a gomosidade, diminuiu a flexibilidade e a coesividade, aumentou a temperatura de gelatinização e reduziu a entalpia. A formação de gel foi maior nos níveis intermediários de oxidação. No segundo experimento, a CAA aumentou com a adição de β -glicana e decresceu com a adição do amido. O maior PI ocorreu nas temperaturas de 70 e 80 °C e a solubilidade aumentou conforme a adição de β -glicana. A adição de amido oxidado aumentou a dureza e a adesividade dos géis e, junto com a β -glicana, alterou a geleificação da farinha de arroz. Na massa crua, aumentou a dureza, a adesividade e a gomosidade. Os maiores volumes foram observados nos pães elaborados com amidos nativo ou oxidado com 1,5% de H₂O₂ e 1% de β -glicana. O perfil de textura e a cor do miolo destes pães se aproximaram muito do pão controle. A farinha de arroz pode ser enriquecida com a β -glicana para melhorar a qualidade nutricional, sem prejuízo na qualidade tecnológica.

Palavras-Chave: panificação, peróxido de hidrogênio, farinha sem glúten, fibra dietética.

ABSTRACT

PEREIRA, J.M. **Application of β -glucan and oat oxidized starch in bread made from rice flour** 2011. Dissertation (Master's degree) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Agroindustrial. Universidade Federal de Pelotas.

The big consumption of bread and also the demands of consumers for different products and with functional properties have stimulated several investigations in search of raw materials which could satisfy specific needs of the market. Rice flour is an alternative for diversifying products which could serve specially the parcel of population who is allergic to gluten. To do so, ingredients such as modified starch, gums, fibers, hydrocolloids and enzymes have been used. An option for producing good quality rice bread is by using β -glucan fiber, which can create a film in the dough capable of retaining the gas generated during fermentation, and modified starch, with expansion capacity. This way, the aim of this study was to assess bread features made with rice flour added with β -glucan and oxidized oat starch. Thus, two experiments were carried out. The first experiment had the aim to extract, modify and characterize oat starch. Starch was extracted from oat grains (IAC-7) with NaOH 0,18%, modified with H₂O₂, in 4 concentrations (0; 0,5; 1,0 and 1,5% p/p) and characterized in terms of centesimal composition, amylose content, carbonyl and carboxyl content, swelling capacity (PI), solubility, gelification, gel texture and heat properties. The second experiment had the aim to apply β -glucan extracted from oat bran and native and modified starch, in bread. In the experimental delineation, it was altered the β -glucan in 3 levels (0, 1 and 3 %) and starch in 3 concentrations (0, 10 and 20%) and 4 levels of oxidation. It was assessed the capacity of water absorption (CAA), PI, solubility, gelification, gel and dough texture, specific volume, weight loss when baked, crumb texture and color. It was obtained 31,5% of extraction performance in the first experiment. Oxidation promoted the formation of carbonyls and carboxylic groups, reduced the PI and solubility, increased hardness, adhesiveness and gummy, decreased flexibility and cohesiveness, increased gelification temperature and reduced enthalpy. Gel formation was bigger in intermediate levels of oxidation. CAA increased with the addition of β -glucan and decreased with the addition of starch in the second experiment. The biggest PI occurred in the temperatures of 70 to 80 °C and solubility increased depending on β -glucan addition. The addition oxidized amid increased hardness and adhesiveness of gels and, together with β -glucan, altered gelification of rice flour. In the raw dough, it increased hardness, adhesiveness and gummy. The bigger volumes were observed in those bread made of native or oxidized amid with 1,5% of H₂O₂ and 1% of β -glucan. The texture profile and crumb color of these bread are very close to control bread. Rice flour can be enriched with β -glucan to improve nutritional quality, without any loss in the technological quality.

Key-Words: bakery, hydrogen peroxide, gluten-free flour, dietary fibre

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Representação estrutural da fibra solúvel β -glicana.....	23
Figura 2	Estrutura química e representação física dos polímeros de amilose (a) e de amilopectina (b).....	26
Figura 3	Fluxograma de extração do amido de aveia.....	33
Figura 4	Efeito da concentração de H_2O_2 sobre o teor de grupos carbonilas em amido de aveia.....	46
Figura 5	Efeito da concentração de H_2O_2 sobre teor grupos carboxilas em amido de aveia.....	46
Figura 6	Efeito da concentração de H_2O_2 sobre o teor total de grupos carbonila e carboxila no amido.....	46
Figura 7	Efeito da concentração de H_2O_2 sobre o poder de inchamento (a) e solubilidade (b) do amido de aveia.....	48
Figura 8	Dureza do gel de amido de aveia submetido ao tratamento oxidativo com diferentes concentrações de H_2O_2	50
Figura 9	Adesividade do gel de amido de aveia submetido ao tratamento oxidativo com diferentes concentrações de H_2O_2	51
Figura 10	Flexibilidade do gel de amido de aveia submetido ao tratamento oxidativo com diferentes concentrações de H_2O_2	51
Figura 11	Coabilidade do gel de amido de aveia submetido ao tratamento oxidativo com diferentes concentrações de H_2O_2	52
Figura 12	Gomosidade do gel de amido de aveia submetido ao tratamento oxidativo com diferentes concentrações de H_2O_2	52
Figura 13	Termogramas de DSC da gelatinização de amido de aveia nativo e oxidado.....	55
Figura 14	Cortes transversais de pães elaborados com farinha de arroz adicionados de β -glicana e de amido de aveia nativo ou oxidado....	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Delineamento experimental da oxidação do amido de aveia com H ₂ O ₂	29
Tabela 2	Delineamento experimental para avaliar as características tecnológicas da farinha de arroz adicionada de β-glicana e de amido nativo e modificado de aveia na elaboração de pães.....	30
Tabela 3	Formulação dos pães.....	35
Tabela 4	Caracterização química do farelo de aveia IAC 7 e do concentrado de β-glicanas.....	42
Tabela 5	Caracterização química do amido de aveia nativo e oxidado.....	44
Tabela 6	Propriedade de geleificação do amido de aveia nativo e oxidado.....	49
Tabela 7	Análise térmica de gelatinização dos amidos de aveia nativo e modificados.....	54
Tabela 8	Capacidade de absorção de água da farinha de arroz adicionada de diferentes concentrações de β-glicana e amido de aveia nativo e oxidado (%)......	58
Tabela 9	Poder de inchamento da farinha de arroz adicionada de diferentes concentrações de β-glicana e amido de aveia nativo e oxidado (g.g ⁻¹)......	59
Tabela 10	Solubilidade da farinha de arroz adicionada de diferentes concentrações de β-glicana e amido nativo de aveia nativo e oxidado (%)......	60
Tabela 11	Características de geleificação dos tratamentos elaborados a partir de farinha de arroz e diferentes concentrações de β-glicana e amido nativo e oxidados.....	62
Tabela 12	Perfil de textura do gel elaborado com farinha de arroz e diferentes concentrações de β-glicana e amido de aveia nativo e oxidado.....	64
Tabela 13	Perfil de textura da massa crua elaborada com farinha de arroz e diferentes concentrações de β-glicana e amido de aveia nativo e oxidados.....	66

Tabela 14	Volume específico e perda de peso ao assar dos pães elaborados com farinha de arroz e diferentes concentrações de β -glicana e amido de aveia nativo e oxidado.....	69
Tabela 15	Perfil de textura do miolo dos pães elaborados com farinha de arroz e diferentes concentrações de β -glicana e amido de aveia nativo e oxidado.....	72
Tabela 16	Cor do miolo dos pães elaborados com farinha de arroz e diferentes concentrações de β -glicana e amido de aveia nativo e oxidado.....	74

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
2 OBJETIVOS.....	16
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
3.1 Panificação.....	17
3.1.1 Importância do desenvolvimento de produtos com farinhas sem glúten.....	17
3.2 Arroz.....	18
3.2.1 Farinha de arroz.....	19
3.3 Aveia.....	20
3.3.1 Fibra dietética.....	21
3.3.2 β -glicana.....	23
3.3.3 Funções da β -glicana.....	24
3.3.4 Amido de aveia.....	25
3.3.4.1 Modificação química de amido.....	26
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	28
4.1 Materiais.....	28
4.2 Delineamento experimental.....	28
4.2.1 Análise estatística.....	Erro! Indicador não definido.
4.2.2 Oxidação do amido de aveia.....	29
4.2.3 Comportamento da farinha de arroz adicionada de β -glicana e de amido nativo e modificado de aveia na produção de pães.....	29
4.3 Rendimento de extração e caracterização do concentrado de β -glicanas.....	31
4.4 Obtenção da farinha de arroz.....	31
4.5 Extração do amido de aveia.....	31
4.6 Oxidação química do amido de aveia.....	32
4.7 Elaboração dos pães.....	34
4.8 Métodos analíticos.....	36

4.8.1 Composição centesimal	36
4.8.2 Teor de β -glicanas no concentrado.....	36
4.8.3 Conteúdo de carbonila e carboxila	37
4.8.4 Textura do gel	38
4.8.5 Capacidade de absorção de água	38
4.8.6 Geleificação.....	39
4.8.7 Solubilidade e Poder de Inchamento	39
4.8.8 Calorimetria diferencial de varredura (DSC).....	40
4.8.9 Textura da massa crua.....	40
4.8.10 Características de panificação	41
4.8.10.1 Volume e perda de peso ao assar	41
4.8.10.2 Textura do miolo	41
4.8.10.3 Cor.....	41
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
5.1. Rendimento de extração e caracterização da concentrado de β -glicana.....	42
5.2 Obtenção e oxidação de amido de aveia.....	43
5.2.1 Rendimento de extração e caracterização química do amido de aveia	43
5.2.2 Conteúdo de grupos carbonila e carboxila no amido	45
5.2.3 Poder de inchamento e solubilidade do amido de aveia.....	47
5.2.4 Propriedade de geleificação	49
5.2.5 Perfil de textura.....	50
5.2.6 Análise térmica	53
5.3 Aplicação de β -glicana e de amido de aveia nativo e oxidado na elaboração de pães com farinha de arroz.....	55
5.3.1 Composição centesimal da farinha de arroz e teor de amilose	55
5.3.2 Capacidade de absorção de água	56
5.3.3 Poder de inchamento e solubilidade	57
5.3.4 Geleificação.....	61

5.3.4 Textura de gel	61
5.3.5 Textura da massa crua.....	65
5.3.6 Avaliação dos pães	67
6. CONCLUSÕES	75
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	77

1 INTRODUÇÃO

O consumo de alimentos nutritivos e seguros está crescendo e a ingestão de refeições balanceadas e livres de constituintes que causem prejuízos à saúde é a forma correta de evitar, ou mesmo corrigir, problemas como obesidade, desnutrição, cardiopatias, alergias, entre outros.

O arroz está entre os cereais mais consumidos do mundo, juntamente com o trigo e com o milho. Diferencia-se destes, principalmente, por ser um grão que é tipicamente consumido de forma direta, ou seja, como grão beneficiado. Porém, a produção de farinha de arroz, visando o desenvolvimento de produtos alimentícios, surge como uma alternativa de mercado para as indústrias, mostrando a capacidade e o potencial de inovação, inserção e crescimento do setor arroseiro (GARCIA, 2007).

O estudo das propriedades de panificação da farinha de arroz torna-se interessante, por essa possuir características vantajosas que chamam a atenção, como: cor branca, sabor suave e proteínas hipoalergênicas. Porém, a panificação com farinha de arroz é um desafio, uma vez que, quando esta é amassada com água, não ocorre a formação de uma massa viscoelástica que retenha o CO₂ gerado durante a fermentação e o forneamento, resultando em pães com baixo volume específico e com características diferentes das encontradas em pães elaborados a partir de farinha de trigo. Portanto, para a obtenção de melhor qualidade dos produtos panificáveis a partir de farinha de arroz, é necessária a adição de alguns ingredientes, tais como hidrocolóides, gomas, enzimas, proteínas, entre outros.

Neste contexto, chama a atenção a adição de amido de aveia modificado e de fibras dietéticas como a β -glicana, que além de melhoria das características de panificação da farinha de arroz, podem causar efeitos benéficos comprovados à saúde.

As β -glicanas são fibras dietéticas solúveis, encontradas em maiores concentrações em grãos de aveia e de cevada e têm comprovado diminuir os níveis de colesterol sanguíneo, prevenindo doenças do coração (MÄLKKI; VIRTANEN, 2001). Além disso, as propriedades das β -glicanas são de interesse no processamento dos alimentos (BRENNAN; CLEARY, 2005), uma vez que essa fibra

pode ser usada como ingrediente espessante e, também, como substituto de gordura para o desenvolvimento de produtos *diet e light*.

Por outro lado, o desenvolvimento de amidos com propriedades de expansão pode resultar em novos ingredientes para o preparo de biscoitos, pães e outros produtos de panificação livres de glúten. São, relativamente, poucos os estudos investigando a aplicação de amidos oxidados na produção de pães sem glúten. Também, não foram encontrados registros de estudos que tenham verificado a ação conjunta de um agente que cause a expansão da massa com outro agente que forme um filme capaz de reter, na massa do pão, o CO₂ formado durante a fermentação.

Tendo em vista o consumo freqüente de produtos de panificação pela grande maioria da população, a necessidade de uma parcela destes consumidores por alimentos sem glúten e a carência destes produtos no mercado, estudos para o desenvolvimento de novas formulações são muito atraentes. Diante do exposto, este trabalho visou estudar o comportamento da farinha de arroz com adição de β -glicana e de amido oxidado de aveia na produção de pães.

2 OBJETIVOS

- Verificar o rendimento de extração e caracterizar o amido de aveia nativo e oxidado quimicamente;
- Caracterizar química e tecnologicamente a β -glicana extraída de farelo de aveia;
- Estudar as características tecnológicas de farinha de arroz adicionada de β -glicana e de amido nativo e oxidado de aveia, na elaboração de pães.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Panificação

A Panificação está entre os maiores segmentos industriais do Brasil. São aproximadamente 63 mil panificadoras que atendem, em média, 40 milhões de clientes por dia (21,5% da população nacional). O setor gera 700 mil empregos diretos e 1,5 milhão indiretos e sua participação na indústria de produtos alimentares representa 36,2% e, na indústria de transformação, 7% do total (ABIP, 2009).

Pães são definidos, segundo o regulamento técnico da Agência Nacional de Vigilância Sanitária, como os produtos obtidos da farinha de trigo e/ou outras farinhas, adicionados de líquidos, fermentados ou não e cozidos, podendo conter outros ingredientes. Podem apresentar cobertura, recheio, formato e textura diversos (BRASIL, 2005).

Os produtos de panificação, e principalmente os pães, são alimentos muito difundidos e consumidos em todo o mundo e, portanto, são considerados importante fonte de nutrientes para a população (KADAN; BRYANT; BOYKIN, 2001; GOESAERT et al., 2005).

Por tratar-se de uma fonte rica em carboidratos a Organização Mundial da Saúde (OMS) recomenda uma ingestão de 60 kg de pães por ano. Segundo a Associação Brasileira de Indústrias de Panificação (ABIP, 2009), o consumo de pães no Brasil fica em torno de 33,5 kg *per capita*.

3.1.1 Importância do desenvolvimento de produtos com farinhas sem glúten

A intolerância ao glúten, também chamada de doença celíaca, é uma enteropatia crônica, causada pelo consumo das proteínas formadoras do glúten por indivíduos que possuem predisposição genética a esta doença (HAMER, 2005; LAURIN; WOLVING; FALTH-MAGNUSSON, 2002).

É caracterizada pela forte reação a certas seqüências de aminoácidos encontrados em frações de prolaminas do trigo, cevada e centeio (HILL et al., 2005).

Em crianças, os sintomas da doença envolvem diarreia, vômitos e diminuição na taxa de crescimento. Em adultos, os sintomas são bem variados, sendo a diarreia o principal. Canseira, perda de peso, anemia e câimbras são também comuns. Se não houver tratamento, a doença pode evoluir para distúrbios neurológicos, infertilidade e, até mesmo, o risco de câncer no trato intestinal pode ser aumentado (SKERRITT, DEVERY; HILL, 1990).

Deve ser considerado que é uma doença genética muito comum, que atinge 1 a cada 130-300 indivíduos no planeta (FASANO; CATASSI, 2001; FASANO et al., 2003), sendo a incidência variável conforme a região (SKERRITT et al., 1990, FASANO et al., 2003).

Dieta livre de glúten ainda é a única forma de tratamento (GALLAGHER; GORMLEY; ARENDT, 2004). Segundo Seraphin e Mobarhan (2002), dietas sem glúten trazem benefícios para os pacientes, tais como a recuperação da flora intestinal e a redução de riscos de complicações malignas.

A partir de estudos laboratoriais e clínicos verificou-se que enquanto o trigo, o triticale e o centeio são muito tóxicos, a cevada apresenta toxicidade menor. Ainda há controvérsias com relação à aveia, já o milho, o arroz e o sorgo não são tóxicos (SKERRITT et al., 1990). Para tais autores, o que determina a toxicidade para os portadores da doença celíaca é o teor de proteínas formadoras do glúten (gliadinas) e não o total de proteínas dos cereais.

A substituição do trigo pode ser feita por soja, arroz, milho, batata, mandioca e cará, sendo que, dentre esses, o arroz é o menos alergênico (AMUSSEN; SHARP; SHARP, 1990; ACELBRA, 2011; ROSELL et al., 2007). Embora existam muitos estudos para desvendar a fisiopatologia da doença celíaca, ainda são poucos os produtos destinados a celíacos, disponíveis no mercado. Dessa forma, a maior parte dos alimentos para celíacos são restritos ao preparo caseiro. Segundo a ACELBRA (2011), o pão é o alimento que 47% dos celíacos sentem mais falta em encontrar com facilidade.

3.2 Arroz

O arroz constitui-se em alimento de subsistência para mais da metade da população mundial. O Brasil é o maior produtor fora do continente asiático, tendo

produzido aproximadamente 11,5 milhões de toneladas na safra 2009/2010 (CONAB, 2010).

O arroz é utilizado predominantemente para alimentação humana fornecendo 27% do aporte calórico total em países em desenvolvimento e apenas 4% deste em países desenvolvidos (ROSELL; MARCO, 2009). Os padrões de consumo deste cereal podem ser classificados em três grandes modelos. O modelo asiático, que corresponde a um consumo médio *per capita* superior a 100 kg ao ano, o modelo subtropical, que apresenta um consumo *per capita* médio variando de 35 a 65 kg ao ano e o modelo ocidental, cujo consumo *per capita* médio é cerca de 10 kg ao ano. No Brasil, o consumo *per capita* de arroz é de aproximadamente 45 kg/ano (EMBRAPA, 2011) e as preferências de consumo diferem regionalmente dentro do país (GULARTE, 2004).

De acordo com Martinez e Cuevas (1989), o arroz pode ser classificado quanto ao seu teor de amilose em baixo (menos que 22%), médio (de 23 a 27%) e alto (maior que 28%). No Brasil, as variedades mais consumidas são as de alto teor de amilose, visto que os grãos destas variedades, quando cozidos, possuem menor adesividade e relativa dureza em relação à textura, características que são valorizadas pela população desta região (GULARTE, 2003).

3.2.1 Farinha de arroz

O uso de farinha de arroz na elaboração de produtos pode agregar valor a esta matéria-prima, considerada um co-produto do beneficiamento do arroz, uma vez que os grãos quebrados têm pouca utilização industrial e são, largamente, destinados à alimentação animal e para cervejarias (TEDRUS et al., 2001).

Não existem dados estatísticos oficiais sobre a produção e o consumo de farinha de arroz. Estima-se que nos Estados Unidos e no Canadá sejam utilizadas de 13,5 a 18 mil toneladas de farinha de arroz por ano em alguns produtos específicos, como alimentos infantis, cereais matinais e produtos extrusados, além de ração animal. Entre 5 e 10% do total de farinha de arroz produzida é utilizada em produtos como panquecas, waffles, batter e farinha para empanados, ou como parte da formulação de pães, massas de pizza e muffins (ORMENESE; CHANG, 2002).

A possibilidade de ampliar a utilização da farinha de arroz em produtos de panificação vem a atender interesses, como reduzir os gastos entre divisas do País na importação de trigo, pois, atualmente, o Brasil importa mais de 60% do trigo que consome (GARCIA, 2007). Além disso, pode colocar na mesa dos consumidores produtos de qualidade e que possam ser utilizados por uma faixa especial de consumidores, os portadores de alergia gastrointestinal ao glúten que está presente em cereais como trigo, triticale e centeio.

A farinha de arroz, além de ser uma fonte de energia, apresenta, entre os cereais, maior digestibilidade, maior valor biológico e uma taxa de eficiência protéica mais elevada (CHEFTEL, 1985, WANG; ROSELL; BENEDITO DE BARBER, 2002), constituindo-se uma importante fonte de nutrientes. Outras vantagens desta matéria-prima, em relação a outras farinhas, estão em características como proteínas hipoalergênicas, de fácil digestão, sabor suave e cor branca (KADAN; BRYANT; BOYKIN, 2001; ROSELL, et al., 2007).

A elaboração de produtos com farinha de arroz representa uma dificuldade tecnológica, pois essa não possui glúten, que é a mais importante estrutura protéica para a fabricação de pães e massas alimentícias. Entretanto, pesquisas têm demonstrado que substâncias que incham em água podem substituir o glúten na massa. Segundo Lazaridou et al. (2007), a adição de 1 ou 2% de β -glicana em pães sem glúten resulta em um maior volume específico, a porosidade do miolo e a cor da crosta é incrementada quando adicionado 1%, e a firmeza do miolo aumentada, significativamente, quando adicionado 2% de β -glicana.

3.3 Aveia

A aveia (*Avena sativa* L.) é um dos grãos mais produzidos no mundo, respondendo por cerca de 7% da produção mundial de grãos, tendo como maiores produtores Rússia, Canadá e EUA. No Brasil, o maior produtor é o estado do Paraná, seguido por Santa Catarina e Rio Grande do Sul (CONAB, 2008).

Este cereal possui excelente valor nutricional e, entre os fatores que a diferenciam dos demais cereais, pode-se destacar: o conteúdo e a composição protéica, em torno de 15%, com o perfil de aminoácidos equilibrado e de alta digestibilidade (CHARALAMPOPOULOS et al., 2002); o percentual de lipídios em

torno de 3 a 11%, com predominância de ácidos graxos insaturados (SÁ et al., 2000); a presença de 9-13% de fibra alimentar total, responsável pelos efeitos benéficos à saúde humana, destacando as β -glicanas (PEDÓ; SGARBIERI, 1997; GUTKOSKI; TROMBETTA, 1999); e o teor de aproximadamente 60% de amido com propriedades diferenciadas, por estar fortemente ligado a lipídios (MUA; JACKSON, 1995). Os grãos de aveia possuem, ainda, vitaminas, minerais e antioxidantes (CHARALAMPOPOULOS et al., 2002; BRENNAN; CLEARY, 2005).

As propriedades tecnológicas, sensoriais, nutricionais e funcionais da aveia, e sua aplicação na alimentação humana, têm sido estudadas e, devido aos benefícios já comprovados à saúde, é considerada um alimento funcional (FLORES; BASTOS; CHANG, 2000). Os produtos deste cereal podem ser utilizados como ingredientes na panificação, devido às suas excelentes propriedades de absorção de umidade, o que retarda o envelhecimento de pães, bolos e biscoitos. Além disso, seus derivados têm a habilidade de estabilizar componentes lipídicos em razão de suas propriedades antioxidantes (LOCKART; HURT, 1986; HOSENEY, 1990; McKECHNIE, 1983 apud GUTKOSKI; PEDÓ, 2000; TEDRUS et al., 2001; SEABRA et al., 2002).

3.3.1 Fibra dietética

De acordo com a AACC - *American Association of Cereal Chemists* - (1995), 'fibra dietética' é o remanescente da parte comestível de plantas e carboidratos análogos, que são resistentes à digestão e absorção no intestino delgado de humanos, com completa ou parcial fermentação no intestino grosso. Isso inclui polissacarídeos, oligossacarídeos, lignina e substâncias associadas.

A ADA - *American Dietetic Association* - (2008), baseada em estudos sobre prevenção de doenças cardiovasculares, recomenda o consumo de quantidades adequadas de fibras dietéticas, sendo 14g de fibras dietéticas por 1000 kcal ingeridas, ou 25g para mulheres adultas e 38g para homens adultos.

A fibra alimentar pode ser classificada em solúvel e insolúvel em água. A fração solúvel das fibras da aveia compõe-se de pectinas, β -glicanas, mucilagens, algumas hemiceluloses e amido resistente. Os principais componentes da fração

insolúvel são a celulose e as hemiceluloses (PETERSON, 1992; GUTKOSKI; TROMBETTA, 1999)

Os benefícios potenciais das fibras dietéticas para a saúde têm sido documentados, em relação ao tempo de trânsito intestinal, onde as fibras solúveis retardam o esvaziamento gástrico e diminuem a absorção de carboidratos, constituindo efeitos benéficos para os portadores de diabetes (FELDHEIM; WISKER, 2000). Essas fibras têm maior capacidade de fixar substâncias orgânicas e inorgânicas em comparação às insolúveis, o que dá a esta fração a capacidade de diminuir o colesterol sanguíneo (WOOD, 2007).

As fibras insolúveis previnem a constipação e reduzem o risco de câncer de cólon (FAIVRE; BONITHON-KOPP, 1999) e doenças cardiovasculares (BAZZANO et al., 2003), produzindo cadeias curtas de ácidos graxos (KARPPINEN et al. 2000) e estimulando o crescimento de uma microflora intestinal saudável.

Devido às propriedades hipocolesterolêmicas das fibras solúveis e seus evidentes efeitos fisiológicos no metabolismo dos lipídios, é indicado o consumo de 3-15 g/dia de diversas fibras solúveis, incluindo guar, pectina, farelo de aveia e fibra de soja, que reduzem os níveis de colesterol e glicose no sangue em torno de 5 a 15% (ROY; VEJA-LOPEZ; FERNANDEZ, 2000; GRIZARD; DALLE; BARTHOMEUF, 2001).

As fibras dietéticas podem ser incluídas em pães (RANHOTRA et al., 1990), embora, frequentemente, a adição destas pode causar efeitos negativos na qualidade final do produto. Os efeitos mais evidentes são a redução no volume específico, o aumento da firmeza e coloração mais escura do miolo (KNUCKLES; HUDSON; CHIU, 1997).

No entanto, tecnologias estão sendo estudadas para melhorar os produtos com fibras. Segundo Gelroth; Ranhotra (2001 apud SABANIS; LEBESI; TZIA, 2009), a adição de fibras em alimentos contribui para a modificação e melhora da textura, características sensoriais e vida de prateleira, devido à sua capacidade de absorção de água, habilidade para formar gel e por mimetizar a gordura.

3.3.2 β -glicana

As β -glicanas são homopolissacarídeos não-iônicos, formados por unidades de β -D-glicopiranosil e podem ser encontradas em uma ampla variedade de microrganismos e plantas. β -glicanas de cereais são compostos lineares (1 \rightarrow 3),(1 \rightarrow 4)- β -D-glicanas (Fig. 1), solúveis em água, e podem ser obtidas, principalmente, da aveia e da cevada (CHARALAMPOPOULOS et al., 2002; LAZARIDOU et al., 2007). Aproximadamente 70% das ligações são do tipo β -1,4 e ocorrem em grupos de 2 ou 3, enquanto as β -1,3 (aproximadamente 30%) ocorrem isoladas. A cariopse de aveia contém entre 3,91 e 6,82% de β -glicanas e o farelo entre 5,81 e 8,89% (WOOD; WEIZ; BLACKWELL, 1991).

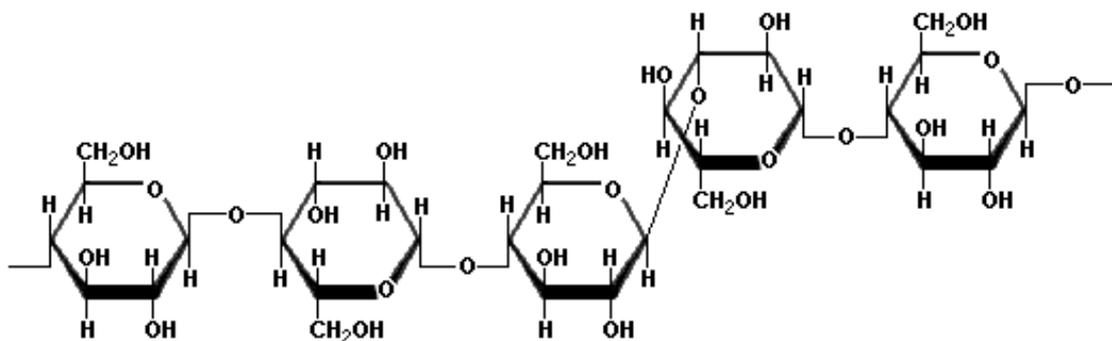


Figura 1. Representação estrutural da fibra solúvel β -glicana.

As características moleculares e estruturais das β -glicanas são importantes para determinar suas propriedades físicas, como a solubilidade em água e o comportamento reológico, e, desta forma, determinar seus efeitos funcionais em alimentos (BANCHATHANAKIJ; SUPHANTHARIKA, 2009).

As β -glicanas tendem a formar soluções viscosas e géis de alta viscosidade em baixas concentrações (WOOD, 2004; 2007). A viscosidade é uma propriedade dos líquidos, portanto, a quantidade de β -glicanas solúveis em um sistema alimentício contribui para a viscosidade final do mesmo (DONGOWSKI et al., 2005). Estas fibras são extremamente pseudoplásticas em concentrações aquosas de 0,5% ou superiores e estáveis na presença de açúcares e sais. Com o aumento da temperatura, as suas soluções apresentam um decréscimo temporário na viscosidade, voltando a espessar com o resfriamento.

Existem diferenças reológicas entre as β -glicanas de diferentes frações da aveia. As β -glicanas do farelo produzem soluções mais viscosas, e estão associadas à maior concentração de proteínas e outros carboidratos do que as soluções de β -glicanas do endosperma (WOOD; WEIZ; BLACKWELL, 1991).

3.3.3 Funções da β -glicana

Em 1997, a Food and Drug Administration (FDA) aprovou uma nova regulamentação, permitindo que os produtos de aveia integral trouxessem em seus rótulos o apelo de benefício à saúde, relacionando seu consumo à redução do risco de doenças cardíacas. A FDA concluiu que a β -glicana é o componente responsável pela diminuição do colesterol total e LDL no sangue em dietas que contenham cerca de 3g/dia desta fibra (equivalente ao consumo de 40g de farelo de aveia ou 60g de farinha de aveia).

A crescente atenção dada às β -glicanas se deve às respostas fisiológicas que produzem como fibra alimentar, sendo de grande importância para a saúde humana (PACHECO; SGARBIERI, 2001). Elas apresentam propriedades como ingredientes funcionais (DE FRANCISCO; SÁ, 2001), por diminuírem a absorção do bolo alimentar e por retardarem o esvaziamento gástrico, resultados da adesão de líquidos às suas fibras solúveis e aumento na viscosidade do quimo, o que diminui sua digestão pelas enzimas pancreáticas.

Tappy; Gugolz; Wursch (1996) verificaram que inclusão de baixas concentrações (menos de 5%) de β -glicana de aveia, como cereal, no café da manhã reduziu a resposta glicêmica pós-prandial em 50%. Em doses maiores (acima de 5%), não houve uma redução tão grande da resposta glicêmica, indicando um possível ponto de saturação. Estes resultados podem ser importantes quando for determinado o nível de β -glicana a ser incluído em um sistema alimentício.

A habilidade de preparar produtos diferenciados com β -glicana pode aumentar o valor econômico da aveia e ocupar mercados específicos como o de alimentos funcionais (GUTKOSKI et al., 2007). Segundo Charalampopoulos et al. (2002), a indústria de alimentos está direcionada para a área de alimentos funcionais.

3.3.4 Amido de aveia

O amido de aveia consiste em pequenos grânulos poligonais, birrefringentes, irregulares, com tamanho variando entre 3 e 10 μm , que formam aglomerados (ZHOU et al., 1998). A fração amilácea do grão de aveia responde por 63% dos constituintes, possuindo em torno de 32% de amilose (GALDEANO et al., 2009), valor este que pode variar de acordo com a cultivar. Cerca de 60% desta amilose está complexada com lipídios (MUA; JACKSON, 1995).

O amido é constituído basicamente por duas moléculas, a amilose e a amilopectina (Fig. 2). A amilose consiste em uma molécula essencialmente linear, formada por unidades de D-glicose, ligadas em α -1,4, com pequeno número de ramificações (LIU, 2005). Apresenta-se no formato helicoidal, sendo que no interior da hélice ficam dispostos os átomos de hidrogênio e na parte externa as hidroxilas. A presença destes átomos de hidrogênio permite que a amilose forme complexos com ácidos graxos livres, com componentes glicéricos dos ácidos graxos, com alguns alcoóis e com o iodo. Esta reação com o iodo serve como uma ferramenta para caracterização de amido. A amilopectina, por sua vez, consiste em uma macromolécula altamente ramificada, com cadeias lineares mais curtas, contendo entre 10 e 60 unidades de glicose ligadas por α -1,4 e cadeias laterais com 15 a 45 unidades de glicose, com uma média de 5% de ligações α -1,6 (Fig. 2).

O amido de aveia, como matéria-prima não tem chamado atenção para utilização devido à sua difícil separação dos demais constituintes do grão, como proteínas e fibras e pelo custo elevado (ZHOU et al., 1998). No entanto, possui propriedades especiais, como alto teor de lipídios associados à amilose (WEBER; GUTKOSKI; ELIAS, 2002).

Ao ser extraído das plantas, sem alteração, o amido é denominado como nativo e possui aplicação em diversos setores, como indústria têxtil, de papel, farmacêutica, siderúrgica, plástica e alimentícia (CEREDA, 1996). A produção de amidos modificados é uma alternativa que vem sendo desenvolvida há algum tempo com o objetivo de superar uma ou mais limitações dos amidos nativos e, assim, aumentar a utilidade deste polímero nas aplicações industriais (LEONEL; JACKEY; CEREDA, 1998; APLEVICZ; DEMIATE, 2007).

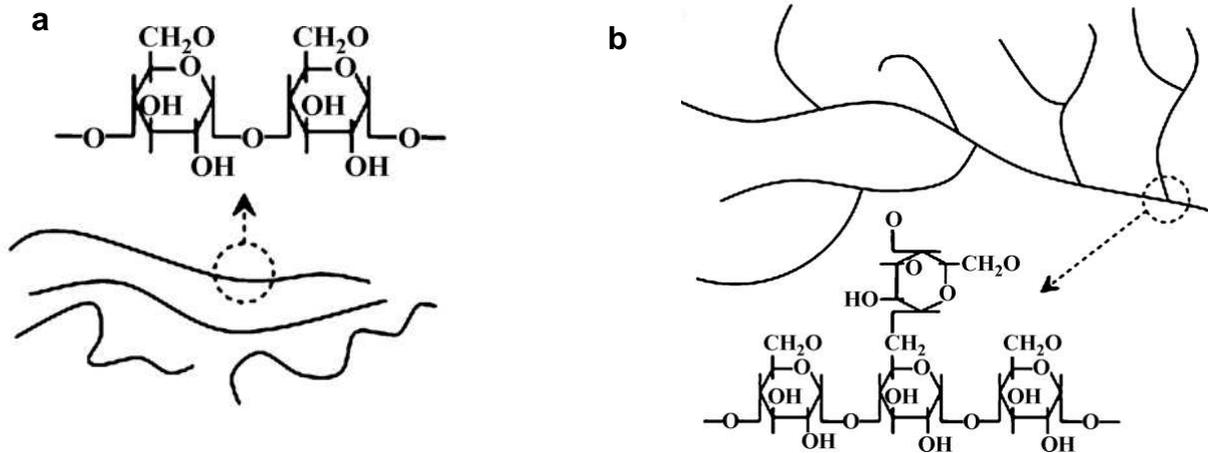


Figura 2. Estrutura química e representação física dos polímeros de amilose (a) e de amilopectina (b) (LIU et al., 2009).

3.3.4.1 Modificação química de amido

O amido nativo, frequentemente, não atende a um determinado processo ou aplicação, devido a suas características intrínsecas, como baixa resistência ao cisalhamento e estabilidade térmica e à grande tendência de retrogradar. A fim de melhorar ou adaptar essas propriedades, o amido pode ser submetido a processos de modificações. Existem diversas formas de modificação do amido (física, química, enzimática e combinado) que alteram uma ou mais propriedades (BERSKI et al., 2010).

As modificações químicas podem alterar drasticamente as propriedades do amido, levando ao produto características específicas. O amido, submetido à modificação por oxidação, adquire propriedades funcionais, tais como a capacidade de geração de pastas fluidas com alto teor de sólidos, elevada transparência e resistência à retrogradação (WING, 1994, NEVES et al., 2010).

Cereda e Vilpoux (2003) relataram que amidos oxidados diferem de seus respectivos amidos nativos pelas seguintes características: viscosidade da pasta a quente mais baixa; baixas taxas de retrogradação de pastas aquecidas; baixas temperaturas de pasta; taxas de geleificação mais rápidas e picos mais baixos de viscosidade; maior claridade das pastas, soluções e filmes; baixas tensões de estiramento de filmes secos; maior índice de branquidão; melhoria de sabor e aroma; baixas contagens microbianas e caráter aniônico.

Amidos oxidados têm sido largamente usados em muitos seguimentos industriais, principalmente nas indústrias de papel, têxteis e de materiais de construção (acabamento das superfícies, revestimentos e impermeabilização). Além disso, podem ser usados em produtos de confeitaria, como emulsificante, como melhoradores de pão e como agentes ligantes em massas (KUAKPETOON; WANG, 2006).

Dias (2001) apresentou alguns mecanismos da reação de oxidação de amido de mandioca tratado com peróxido de hidrogênio. Primeiramente, ocorre a formação do íon hidroperóxido, que em reações posteriores reage com o peróxido de hidrogênio, formando radical hidroxil, radical hidroxiperóxido e ânion hidroxil. O ânion também forma aductos com os radicais carbonilas do substrato. No decorrer da reação, as ligações O-O são rompidas, e os aductos são decompostos.

Segundo Berski et al. (2010), o tratamento oxidativo com NaOCl em amido de aveia aumenta o teor de amilose, o que pode ser explicado pela parcial despolimerização da amilopectina, criando cadeias longas, capazes de formar complexos com iodo. Estes mesmos autores verificaram que a oxidação causou diminuição da viscosidade das pastas, devido a uma clivagem parcial na cadeia glicosídica, o que reduziu o peso molecular.

Cereda e Vilpoux (2003) associaram a oxidação, pelo uso de peróxido de hidrogênio, com a obtenção de amido modificado, que poderia ser utilizado em alimentos. O Departamento de Higiene Ambiental e Alimentar de Hong Kong (2006) considera que a ingestão de soluções com pequena quantidade (até 3%) de peróxido de hidrogênio não produz efeitos tóxicos, devido à rápida decomposição química promovida pela enzima catalase das células intestinais. Porém, concentrações superiores a 10% podem ocasionar seqüelas, como queimaduras nas membranas e mucosa intestinal. Relata que o peróxido de hidrogênio é instável ao entrar em contato com alguns tipos de alimentos e também ao calor que envolve o processamento destes.

Parovuori et al. (1995) oxidaram fécula de batata com peróxido de hidrogênio (2%) sob diferentes condições de pH (alcalino=10 e ácido= obtido após adição dos reagentes), de catalisador ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ e $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) e de tempo de reação (1, 4 e 24 horas). Verificaram que o conteúdo de carboxilas foi maior utilizando o ferro e o cobre como catalisadores. O conteúdo de carboxila e carbonila foi maior em pH ácido e aumentou com o tempo de reação.

O aumento da oxidação proporcionou uma diminuição no peso molecular do amido e géis mais frágeis após o resfriamento. Estes autores afirmaram que a despolimerização influencia grandemente nas propriedades de geleificação do amido. Sendo que os amidos nativos e altamente oxidados formaram géis fracos, mas o máximo de geleificação ocorreu em nível intermediário de oxidação.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Laboratório de Pós-Colheita, Industrialização e Qualidade de Grãos do Departamento de Ciência e Tecnologia Agroindustrial da Faculdade de Agronomia 'Eliseu Maciel' da Universidade Federal de Pelotas.

4.1 Material

Foram utilizados grãos e farelo de aveia do cultivar IAC-7, cedidos pela CERALLE Ind. e Com. de Cereais LTDA. e grãos de arroz do cultivar IRGA-424. Todos os reagentes usados para as análises foram P.A.

4.2 Delineamento experimental e análise estatística

Foram realizados dois experimentos, o primeiro tendo por objetivo a obtenção e oxidação do amido de aveia e o segundo visando a aplicação de β -glicana e do amido de aveia nativo e oxidado na elaboração de pães com farinha de arroz.

As análises estatísticas foram realizadas em triplicata. Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância. O programa estatístico utilizado foi o SAEG (2009).

4.2.2 Oxidação do amido de aveia

A oxidação do amido de aveia foi realizada com 4 concentrações de H₂O₂. Conforme pode ser observado na tab. 1.

Tabela 1. Delineamento experimental da oxidação do amido de aveia com H₂O₂

Tratamentos	Variáveis independentes	Variáveis dependentes
	Concentração de H ₂ O ₂ (%)	
AN*	0	Composição centesimal Teor de amilose
M1	0,5	Teor de carbonila e carboxila Poder de inchamento
M2	1,0	Solubilidade Geleificação
M3	1,5	Textura do gel DSC

*AN: amido nativo.

4.2.3 Comportamento da farinha de arroz adicionada de β -glicana e de amido nativo e modificado de aveia na produção de pães

O experimento testou três concentrações de β -glicana (0; 1 e 3%) em combinação com três concentrações de amido de aveia (0; 10 e 20%), com quatro níveis de oxidação (0; 0,5; 1,0 e 1,5% de H₂O₂.g amido⁻¹) adicionados à farinha de arroz. O delineamento experimental está apresentado na tab. 2. Foram avaliados o comportamento reológico das misturas e as características de panificação.

Tabela 2. Delineamento experimental para avaliar as características tecnológicas da farinha de arroz adicionada de β -glicana e de amido nativo e modificado de aveia na elaboração de pães

Tratamentos	Variáveis independentes		Variáveis dependentes
	Amido*/Conc. (%)	Conc. β -glicana	
Controle	0	0	
1	0	1	
2	0	3	Composição centesimal
3		0	
4	10	1	Teor de amilose
5	NA	3	Capacidade de absorção de
6		0	
7	20	1	água
8		3	
9		0	Geleificação
10	10	1	
11	M1	3	Textura do gel
12		0	Textura da massa crua
13		1	
14	20	3	
15		0	
16	10	1	Características de
17	M2	3	panificação:
18		0	
19		1	
20		3	
21		0	• Perda de peso ao assar
22	10	1	
23	M3	3	• Textura
24		0	
25		1	• Cor
26	20	3	

*AN: amido nativo; M1, M2 e M3: Amido oxidado 0,5%, 1,0% e 1,5% de H_2O_2 .g amido⁻¹, respectivamente.

4.3 Rendimento de extração e caracterização do concentrado de β -glicanas

O concentrado de β -glicanas foi isolada do farelo de aveia pelo método de Knuckles (1997), com modificações. O farelo de aveia foi adicionado à água destilada a 90 °C, em uma proporção de 1:20 em reator de vidro, a dispersão foi mantida sob agitação magnética por 10 minutos. Após, foi submetida à agitação vigorosa em blender, por 5 minutos. Após, foi colocada novamente no reator e mantida por mais 50 minutos sob temperatura de 90 °C e agitação. A dispersão foi centrifugada a 7500 g durante 20 minutos. O resíduo foi descartado e ao sobrenadante foi adicionado etanol 96% até atingir a concentração de 50%. A solução foi deixada em repouso durante 16 horas a 4 °C para a precipitação da β -glicana, a qual foi seca em estufa com circulação de ar, durante 2 horas, a 60 °C e posteriormente moída e armazenada a -18 °C. O rendimento de extração foi calculado sobre a quantidade total de farelo.

Foi verificado o rendimento de extração e o teor de β -glicanas no concentrado, que foi caracterizado quanto à constituição química (proteínas, lipídios, cinzas, carboidratos e umidade). Também foram avaliados os parâmetros de textura do gel e as características de geleificação.

4.4 Obtenção da farinha de arroz

Os grãos foram descascados e polidos em engenho de provas e moídos em moinho de martelos (Perten LM 3100), até um tamanho de partícula pequeno o suficiente para passar por uma peneira de 70 *mesh*. A farinha foi armazenada em recipientes de vidro transparentes e tampados, em ambiente com temperatura controlada a 17 °C.

4.5 Extração do amido de aveia

Para a extração do amido, os grãos de aveia descascados e não estabilizados, mantidos no freezer (-18 °C \pm 2), foram condicionados a 11% de umidade e moídos em moinho de martelos, Perten LM 3100 (peneira 30 *mesh*). A

farinha foi acondicionada em sacos de polietileno e armazenados a $4\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2$ em geladeira até o momento da extração do amido.

A extração de amido foi realizada baseada no método descrito por Wang e Wang (2004), com algumas modificações (Fig. 3). A farinha de aveia foi adicionada de solução de NaOH 0,18%, na proporção de 1:4 e deixada em repouso durante 1 hora. Após, a dispersão foi submetida à agitação vigorosa em blender, durante 2 minutos. A dispersão foi mantida em repouso por 17 horas. O material resultante foi passado por peneira de 65 mesh e centrifugado a 1200 g, durante 15 minutos. O sobrenadante foi descartado juntamente com a lama depositada sobre a fração amilácea, que para ser removida foi raspada. O amido precipitado foi ressuspenso em solução de NaOH 0,18% e centrifugado novamente a 1200 g, por 15 minutos. O amido extraído foi disperso em água destilada e ajustado com HCl 1N, até pH 6,5 e centrifugado a 1200 g por 5 minutos. O material sedimentado foi suspenso em água destilada e centrifugado; operação repedida duas vezes. O amido resultante foi seco em estufa com circulação de ar a $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ até $11\% \pm 0,5$ de umidade. O rendimento de extração do amido foi calculado sobre a quantidade total de farinha.

4.6 Oxidação química do amido de aveia

O amido foi oxidado realizando-se uma dispersão de amido em água destilada, na proporção de 1:1,5. Foi adicionado 0,01% de sulfato ferroso e o pH foi ajustado para 5,0, com HCl 1 N (DIAS, 2001). Em seguida, foi adicionado peróxido de hidrogênio (H_2O_2), nas concentrações 0,5, 1,0 e 1,5% $\text{H}_2\text{O}_2 \cdot \text{g amido}^{-1}$. A reação foi conduzida em reator de vidro, mantido a $40\text{ }^{\circ}\text{C}$, com agitação constante, por um período de 4 horas. Após, as amostras foram filtradas em Funil de Büchner, o amido foi suspenso novamente em água destilada e filtradas (operação repetida 2 vezes), em seguida as amostras foram lavadas com água corrente, para retirada do reagente. As amostras foram secas em estufa com circulação forçada de ar a $40\text{ }^{\circ}\text{C}$, até umidade de 10%.

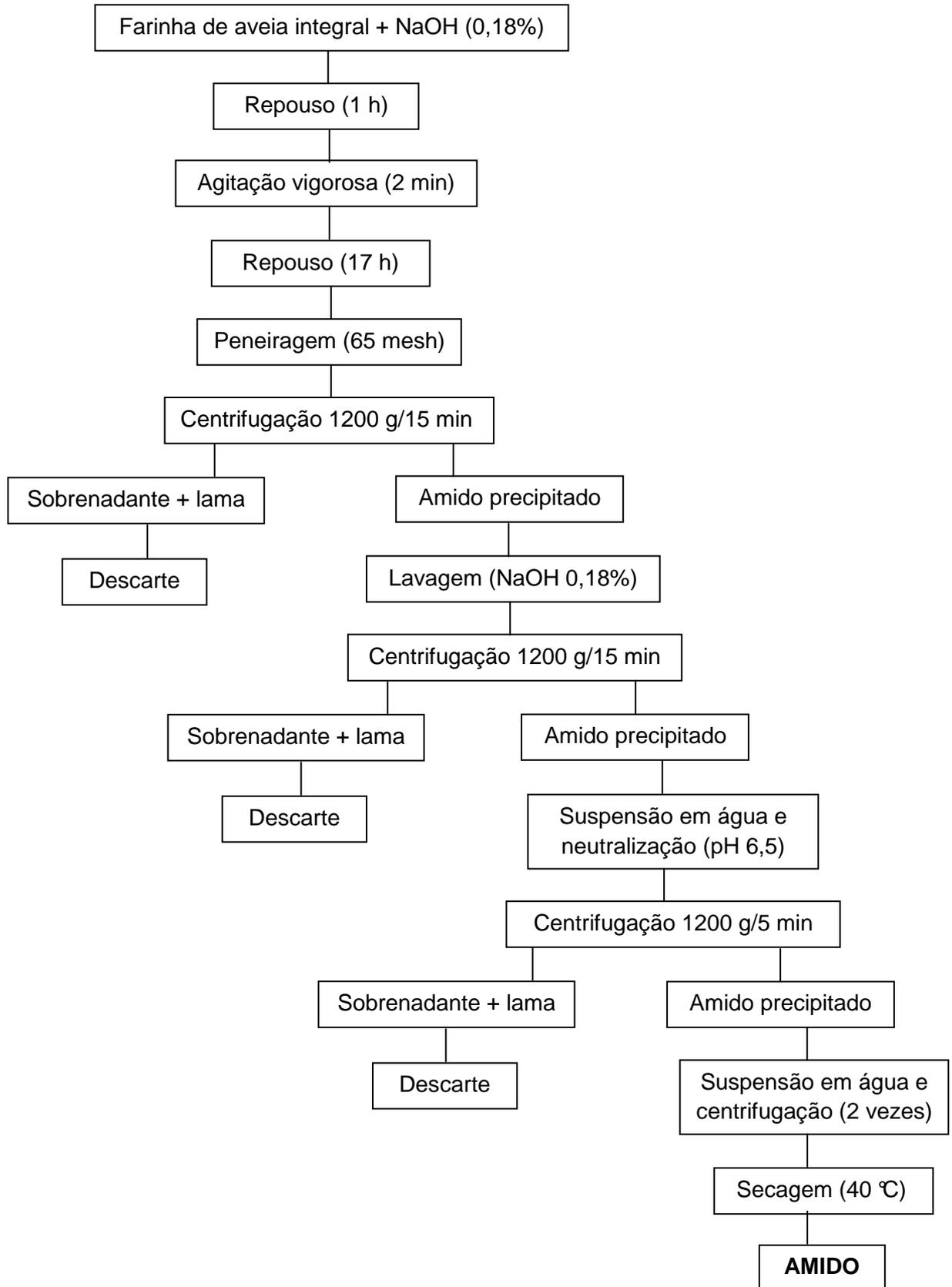


Figura 3. Fluxograma de extração do amido de aveia.

4.7 Elaboração dos pães

Os pães foram elaborados de acordo com as especificações descritas na tab. 3. para farinha de arroz, amido, β -glicana e água. Também foram adicionados em todas as formulações 5% de açúcar, 3% de sal, 3% de fermento biológico e 3% de óleo de soja, relativo a 100 g de farinha. A quantidade de água adicionada às formulações foi determinada a partir de testes preliminares, onde foi avaliado o volume do pão controle (100% farinha de arroz), elaborado com 90; 100 e 110% de água. A melhor resposta foi utilizada para calcular a quantidade de água a adicionar nos demais tratamentos, calculada a partir da capacidade de absorção de água das misturas (farinha de arroz – amido – β -glicana), conforme a equação 1.

$$\text{Água adicionada (ml)} = \frac{\text{CAA do Tratamento (\%)} \times 100}{\text{CAA do controle (\%)}} \quad \text{Eq. (1)}$$

A massa foi preparada misturando-se todos os ingredientes durante 10 minutos em batedeira planetária, em velocidade média. As amostras foram pesadas (aproximadamente 140 g) e colocadas em formas de 36 cm de largura, 105 cm de comprimento e 26 cm de altura, levadas para fermentação em estufa a 38 °C por 40 minutos para fermentação. O forneamento foi realizado em forno a 200 °C por 30 minutos. Após, os pães foram resfriados em temperatura ambiente por 30 minutos e encaminhados para a análise.

Tabela 3. Formulação dos pães

Tratamentos	Farinha de arroz (g)	Amido*/ Qtde(g)		Conc. de β -glicana (g)	Água adicionada (ml)
Controle	100	0		0	100
1	100	0		3,07	104,8
2	100	0		9,23	109,7
3	90	NA	10	0	95,5
4	90	NA	10	3,07	96,4
5	90	NA	10	9,23	109,9
6	80	NA	20	0	87,3
7	80	NA	20	3,07	92,6
8	80	AN	20	9,23	110,1
9	90	M1	10	0	92,7
10	90	M1	10	3,07	91,6
11	90	M1	10	9,23	111,2
12	80	M1	20	0	86,2
13	80	M1	20	3,07	90,6
14	80	M1	20	9,23	110,9
15	90	M2	10	0	91,4
16	90	M2	10	3,07	96,5
17	90	M2	10	9,23	112,2
18	80	M2	20	0	90,9
19	80	M2	20	3,07	94,3
20	80	M2	20	9,23	110,8
21	90	M3	10	0	93,6
22	90	M3	10	3,07	100,2
23	90	M3	10	9,23	114,2
24	80	M3	20	0	93,2
25	80	M3	20	3,07	97,38
26	80	M3	20	9,23	115,24

*AN: amido nativo; M1, M2 e M3: Amido oxidado 0,5%, 1,0% e 1,5% de H_2O_2 .g amido⁻¹, respectivamente.

4.8 Métodos analíticos

4.8.1 Composição centesimal

Foram determinadas as composições centesimais do concentrado de β -glicana, do amido de aveia nativo e da farinha de arroz. O conteúdo de umidade foi determinado através da secagem de 3 g de amostra em estufa a 105 °C por 24 horas, através do método nº 935.29 da AOAC (1997). O teor de nitrogênio total foi determinado pelo método de Micro-Kjeldahl nº 46-13 da AACC (1995) e o conteúdo de proteína bruta foi obtido usando o fator de conversão 5,95 para a farinha de arroz e 6,25 para o amido e para a β -glicana. Os lipídios foram determinados através da extração contínua em aparelho tipo Soxhlet, usando solvente orgânico (n-hexano), de acordo com a AOAC (1995). O teor de cinzas foi determinado através de incineração a 600 °C em mufla, até peso constante, conforme o método nº 08-01 da AACC (1995). Os carboidratos foram calculados pela diferença dos demais componentes, conforme RDC nº 360 (BRASIL, 2003). O teor de amilose foi determinado pelo método de Martinez e Cuevas (1989).

4.8.2 Teor de β -glicanas no concentrado

A determinação de β -glicanas foi realizada de acordo com o método proposto pela AOAC (1997) nº 995.16, onde foi utilizado kit enzimático da Megazyme. Este método consiste em um procedimento rápido e direto para determinação de β (1 \rightarrow 3) e (1 \rightarrow 6) glicanas em amostras gelatinizadas de farinhas ou extratos, usando enzimas altamente purificadas de lichenase e β -glicosidase. As β -glicanas, primeiramente, foram hidrolisadas a oligossacarídeos pela lichenase e posteriormente clivadas a glicose pela β -glicosidase. A glicose foi medida usando glicose oxidase-peroxidase e os resultados expressos em percentagem de β -glicanas.

4.8.3 Conteúdo de carbonila e carboxila

O conteúdo de carbonila foi determinado segundo o método descrito por Smith (1967). A amostra (4 g) de amido de aveia foi dispersa em 100 mL de água destilada. As dispersões foram aquecidas em banho de água fervente durante 30 minutos com agitação contínua até a completa gelatinização do amido. As amostras gelatinizadas foram resfriadas a 40°C, ajustou-se o pH para 3,2 e adicionou-se 15 mL de solução de cloreto de hidroxilamina (A solução de hidroxilamina foi preparada mediante a dissolução de 25 g de cloreto de hidroxilamina em água destilada, adicionando-se 100 mL de hidróxido de sódio 0,5 M e completando-se o volume para 500 mL com água destilada. A solução foi preparada no dia da análise). A seguir, as amostras foram cobertas com filme plástico e levadas à estufa a 38 °C. Após 4 horas, procedeu-se a titulação com ácido clorídrico 0,1 M até pH 3,2. O conteúdo de carbonila foi expresso em quantidade de grupos carbonílicos por 100 unidades de glicose (CO/100GU) e calculado através da equação 2.

$$\text{CO/100GU} = (V_b - V_a) \times F \times 0,028 \times 100 / P \quad \text{Eq. (2)}$$

Onde: V_b = volume de HCl gasto na titulação da prova em branco (mL); V_a = volume de HCl gasto na titulação da amostra (mL); F = normalidade do HCl; P = peso da amostra (b.s.).

O conteúdo de carboxila foi determinado segundo o método descrito por Parovuori et al. (1995). A amostra (5 g) de amido de aveia foi dispersa em 25 mL de água destilada. Procedeu-se a agitação por 30 minutos, em seguida centrifugou-se a dispersão. O resíduo foi lavado com água destilada e transferido para um béquer. A seguir, adicionou-se 300 mL de água destilada e aqueceu-se a dispersão em banho de água fervente com agitação contínua por 30 minutos até a completa gelatinização do amido. Com as amostras ainda quentes efetuou-se a titulação com hidróxido de sódio 0,01 N até pH 8,2. O teor de carboxila foi expresso em quantidade de grupos carboxila em relação a 100 unidades de glicose (COOH/100GU) e calculado através da equação 3.

$$\text{COOH/100GU} = ((V_a - V_b) \times F \times 0,045 \times 100) / P \quad \text{Eq. (3)}$$

Onde: V_b = volume de NaOH gasto na titulação da prova em branco (mL); V_a = volume de NaOH gasto na titulação da amostra (mL); F = normalidade do NaOH; P = peso da amostra (b.s.).

4.8.4 Textura do gel

Os perfis de textura de gel do concentrado de β -glicanas, dos amidos e das misturas foram avaliados em Texturômetro (Texture Analyser TA.XTplus, Stable Micro Systems). Os géis foram preparados de acordo com Chaud e Sgarbieri (2006), com modificações. Dispersões com 12% de concentração em tampão fosfato 20 mM, pH 7,0 foram preparadas em tubos do tipo *canister* com 3,6 cm de diâmetro, colocadas em banho-maria por 30 minutos e, logo após, resfriadas por 30 minutos a 8 °C. Em seguida, foram determinados os parâmetros de textura do gel, seguindo o método descrito por Horndok e Noomhorm (2007), com algumas modificações. Os géis foram perfurados a $1,0 \text{ mm.s}^{-1}$ até uma distância de 10,0 mm, usando probe de aço inoxidável (P/20, 20 mm de diâmetro). Foram avaliadas dureza, flexibilidade, coesividade e gomosidade dos géis. A dureza é expressa pela força máxima para comprimir a amostra na primeira compressão. A flexibilidade é medida pela altura que a amostra recupera durante o tempo que decorre entre o final da primeira compressão e o início da segunda. A coesividade é calculada como a razão entre a área do segundo pico pela área do primeiro pico. A gomosidade é obtida pela multiplicação da dureza pela coesividade.

4.8.5 Capacidade de absorção de água

A capacidade de absorção de água (CAA) das amostras foram determinadas segundo o método de Glória e Reginato-D'arce (2000), onde foi adicionado 5 ml de água destilada e 1 g de amostra, em um tubo de centrifuga, previamente pesado. A dispersão foi agitada por 1 minuto em shaker e deixada em repouso por 30 minutos em temperatura ambiente. Em seguida, foi centrifugada a 2600 g por 30 minutos. O

sobrenadante foi descartado e tubo com resíduo foi pesado. O cálculo foi realizado conforme a equação 4.

$$\text{CAA (\%)} = \frac{\text{Peso amostra umida (g)} \times 100}{\text{Peso amostra seca (g)}} \quad \text{Eq. (4)}$$

4.8.6 Geleificação

A capacidade de geleificação das amostras foi determinada conforme o método proposto por Sathe e Salunke (1981), onde foram preparadas dispersões com diferentes concentrações (3, 6, 9 e 12%) da amostra em 10 ml de tampão fosfato de sódio 20 mM, pH 7,0, em tubo de ensaio. Os tubos foram aquecidos por 1 hora à temperatura de 90 °C, resfriados rapidamente e mantidos por 2 horas a 4 °C. A menor concentração capaz de promover geleificação foi aquela em que os tubos foram invertidos e as amostras não caíram ou deslizaram pela parede do tubo.

4.8.7 Solubilidade e Poder de Inchamento

O poder de inchamento e a solubilidade das amostras foram determinados nas temperaturas de 60, 70, 80 e 90 °C, conforme método descrito por Leach et al. (1959). Foram dispersos 1 g de amostra em 50 mL de água destilada, em tubos de centrifuga, previamente pesados. As dispersões foram vigorosamente agitadas (10 segundos) e colocadas em banho-maria por 30 minutos, após as amostras foram centrifugadas a 1000 g por 20 minutos. O sobrenadante foi coletado e seco em estufa até peso constante, para a quantificação da fração solúvel. Os tubos com as amostras intumescidas foram pesados para determinar o poder de inchamento. A solubilidade foi calculada pela relação da massa solúvel e a massa inicial de amido, expressa em percentagem, enquanto o poder de inchamento foi obtido pela relação da massa final intumescida pela massa inicial de amido.

4.8.8 Calorimetria diferencial de varredura (DSC)

As propriedades térmicas dos amidos foram estudadas utilizando um Calorímetro Diferencial de Varredura (TA-60WS, Shimadzu, Kyoto, Japan). Pesou-se 3,5 mg de amostra (bs) dentro de uma cápsula de alumínio (Mettler, ME-27331). Posteriormente, foi adicionado água destilada até obter uma suspensão com 70% de água. A cápsula, selada hermeticamente, foi deixada em repouso por uma hora antes da análise. Como referência, foi utilizada uma cápsula de alumínio vazia. Transcorrido o tempo de repouso, a amostra foi submetida a um programa de aquecimento de 10-95 °C a uma velocidade de 5 °C/min. As temperaturas de início (Ti), de pico (Tp) e final (Tf) de gelatinização e as entalpias (ΔH) foram determinadas. A variação da temperatura de gelatinização foi calculada através de Tf-Ti.

4.8.9 Textura da massa crua

Para avaliar o efeito da β -glicana e do amido de aveia na textura da massa crua de farinha de arroz foi preparada uma mistura da farinha de arroz adicionada do concentrado de β -glicanas e o dos amidos (nas diferentes concentrações) com água destilada (conforme tab.3).

A textura da massa crua foi avaliada em um analisador de textura TA.XTplus através do teste de perfil de textura (TPA), proposto por Marco e Rosell (2008), com modificações. A massa foi colocada em placas de petri de 50 mm de diâmetro e mantidas em repouso por 10 min. A amostra foi comprimida com um probe cilíndrico de 45 mm de diâmetro a 60% da altura, a uma velocidade de 2 mm.s⁻¹ com tempo entre compressões de 75 segundos. Primeiro foi realizado uma avaliação utilizando um plástico sobre a amostra para evitar a distorção causada pelo pico negativo da adesividade. Um segundo teste foi realizada sem o plástico para utilizar apenas o valor da adesividade.

4.8.10 Características de panificação

4.8.10.1 Volume específico e perda de peso ao assar

Os pães foram pesados antes e após o forneamento. O volume foi determinado pelo método de deslocamento de sementes de painço, sendo o volume de sementes deslocadas medidas em uma proveta em mL (PIZZINATTO; CAMPAGNOLLI, 1993). O volume específico foi calculado pela razão entre o volume e o peso assado (mL/g). A perda de peso foi calculada pela diferença entre o peso da massa crua e da massa assada, depois de resfriada.

4.8.10.2 Textura do miolo

A textura do miolo foi determinada em um analisador de textura TA.XTplus utilizando o método de análise do perfil de textura (TPA). Foram cortadas fatias de aproximadamente 1,25 cm de espessura, as quais foram comprimidas em 40% do seu tamanho original, com um probe de alumínio de 20 mm de diâmetro em uma velocidade de 5 mm.s^{-1} , com tempo entre as compressões de 5 segundos (STORCK, 2009). As análises foram realizadas em triplicata, sendo que em cada pão foram utilizadas 4 fatias.

4.8.10.3 Cor

A cor do miolo foi avaliada em um colorímetro (MINOLTA CR300[®], Osaka, Japão), que faz a leitura de cores num sistema tridimensional avaliando a cor em três eixos. O eixo vertical “L” avalia a cor da amostra do preto ao branco, o eixo “a” da cor verde a vermelha e o eixo “b” da cor azul a amarela. As análises foram realizadas em triplicata, sendo feitas três repetições em cada pão.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Rendimento de extração e caracterização do concentrado de β -glicana

O teor de β -glicanas encontrado no farelo de aveia da cultivar IAC-7 foi de 12,4%. O rendimento de extração do concentrado, em relação ao peso inicial de farelo, foi de 8% e a concentração de β -glicanas neste foi de 32,5% (tab. 4).

Kcuckles et al. (1997) extraindo β -glicanas a partir de cevada, através de método de extração somente com água, obtiveram um concentrado com 33,06% de β -glicanas.

Fujita; Figueroa (2003) caracterizaram, quanto a constituição química, diversas espécies de cereais e produtos com β -glicanas. O farelo de aveia comercial, que utilizaram para o estudo conteve 9,68% de β -glicanas.

Para Wood (1992) é difícil uma comparação entre os dados a respeito de extração de β -glicanas na literatura, pois esse é dependente de muitos fatores relacionados à variedade, ao ano e as condições de cultivo.

Gutkoski; Trombetta (1999) realizaram um estudo comparativo entre cultivares de aveia recomendadas pela Comissão Brasileira de Pesquisa de Aveia. Verificaram que o teor de β -glicanas nos grãos varia, principalmente, devido à genética. No entanto, até entre grãos do mesmo cultivar ocorre variação devido a outros fatores. A forma de moagem, por exemplo, pode mudar completamente de um laboratório para outro, alterando drasticamente o resultado da análise.

Tabela 4. Caracterização química do farelo de aveia IAC 7 e do concentrado de β -glicanas

	Composição química (%)*					
	Umidade	Proteína	Cinzas	Lipídios	Carboidratos	β -glicanas
Farelo	12,51	22,77	3,27	6,12	42,97	12,36
Concentrado de β -glicanas	10,25	8,55	1,28	2,87	44,55	32,5

*base úmida.

O concentrado de β -glicanas formou gel a uma concentração de 9%, sendo que a 12% formou um gel muito firme. Em concentrações inferiores a 6% o gel deslizou pelas paredes do tubo de ensaio.

5.2 Obtenção e oxidação de amido de aveia

5.2.1 Rendimento de extração e caracterização química do amido de aveia

O rendimento de extração do amido, obtido a partir da farinha de aveia IAC-7, foi de 31,51%. Estando de acordo com os resultados obtidos por Hoover et al. (2003), que ao determinarem o rendimento de extração de amido de seis cultivares canadenses de aveia verificaram um rendimento de extração entre 30,9% e 32,3%. Hoover e Senanayake (1996) encontraram rendimentos de extração de 35,2% e 34,0% para os dois cultivares de aveia estudados.

O rendimento de extração do amido de cereais está condicionado a espécie e composição química do cultivar e ao método de extração utilizado. Diferentes métodos de extração de amido de aveia já foram propostos. O método de Lim et al. (1992) utiliza baixo cisalhamento a pH alcalino, foi citado por Galdeano (2007) que utilizou repouso de 1 hora em solução de NaOH 0,08 M e por Mirmoghtadaie; Kadivar; Shahedi (2009) que utilizaram um tempo de repouso de 30 min e solução de NaOH 0,02 M.

Estudos com amidos de outros cereais evidenciam a influencia da relação amilose/amilopectina no rendimento de extração do amido. Zavareze et al. (2009) extraíram amido de arroz de baixa, média e alta amilose, através de um método semelhante ao utilizado neste estudo e obtiveram rendimento de extração baixo para o amido de arroz de baixa amilose (28,9%) em relação aos amidos de média e alta amilose (46,7% e 56,3%, respectivamente).

Devido ao pequeno tamanho dos grânulos de amido de aveia (3 a 10 μ m) e por estarem fortemente aderidos a lipídios e proteínas (MUA; JACKSON, 1995), pode-se explicar o baixo rendimento de extração, quando comparado a outras fontes botânicas. É provável que durante a extração do amido, no momento da retirada da lama que se deposita sobre o amido após a centrifugação, seja retirada uma parte

da fração amilácea que não tenha se desprendido totalmente das proteínas e lipídios.

A composição química e o conteúdo de amilose do amido de aveia nativo e oxidado podem ser visualizados na tab. 5.

Tabela 5. Caracterização química do amido de aveia nativo e oxidado

^a Tratamento	Composição química (%)*				
	Umidade	Proteína	Cinzas	Lipídios	Amilose
AN	9,52	0,36	0,12	0,41	34,24
M1	12,76	0,33	0,12	0,39	35,24
M2	11,36	0,27	0,13	0,38	35,41
M3	10,43	0,35	0,13	0,34	35,54

*base seca.

^aAN: amido nativo; M1, M2 e M3: Amido oxidado 0,5%, 1,0% e 1,5% de H₂O₂.g amido⁻¹, respectivamente.

Galdeano (2007) realizou a caracterização química do amido de aveia, do mesmo cultivar utilizado neste estudo. Obteve os seguintes resultados: 0,41% de proteína, 1,36% de lipídios, 0,32% de cinzas. Berski et al. (2010) encontraram 1,61% de lipídios no amido de aveia nativo. A diferença no conteúdo de cinzas e lipídios entre os estudos anteriores e o presente, provavelmente, se deva ao método de obtenção do amido, onde neste foi utilizado um tempo maior de contato do amido com a solução alcalina. No amido oxidado houve uma redução no conteúdo de lipídios, provavelmente, devido a uma elevação do pH durante o processo de modificação. Os lipídios podem ter sido saponificados e, posteriormente, lixiviados durante a lavagem. Outros autores já observaram este decréscimo (FORSELL et al., 1995; BERSKI et al., 2010).

O amido de aveia, em contraste a outras fontes botânicas possui maior quantidade de lipídios. Mali et al. (2006) encontrou no milho 0,29%; no inhame 0,27%; na mandioca 0,28% de lipídios. Zavareze et al. (2009) verificou uma variação de 0,27% a 0,30% no arroz, fator dependente do cultivar.

O conteúdo de amilose no amido de aveia é variável entre 14% e 33% (ZHOU et al., 1998; HOOVER; SENANAYAKE, 1996; HOOVER et al., 2003; GALDEANO, 2007; BERSKI et al., 2010). O conteúdo verificado neste estudo foi de

34%. A variação do teor de amilose no amido de aveia pode ser devido às diferenças varietais e ao método utilizado para determinação.

À medida que aumentou o nível de oxidação, ocorreu um acréscimo no teor de amilose. Berski et al. (2010) oxidou amido de aveia com hipoclorito de sódio e também verificou um aumento desta cadeia polimérica. Este acréscimo de amilose em amidos oxidados já foi reportado por outros autores (FORTUNA et al., 2002). Este fenômeno pode ser explicado pela ocorrência de uma despolimerização parcial da amilopectina, liberando cadeias longas que formam complexos de inclusão com o iodo (BERSKI et al., 2010).

5.2.2 Conteúdo de grupos carbonila e carboxila no amido

O conteúdo de carbonilas e carboxilas, bem como o somatório das duas, expressa o total de oxidação do amido e estão apresentados nas Fig. 4, 5 e 6 respectivamente. O amido tratado com H_2O_2 teve um maior teor de carbonilas e carboxilas e o somatório destes grupos funcionais também foi maior, quando comparado ao amido nativo. Entre os amidos tratados com H_2O_2 , independente do nível de oxidação, não houve diferença significativa no conteúdo destes grupos. O conteúdo de carbonilas aumentou 5 vezes e o de carboxilas 2 vezes do amido nativo para o amido tratado com 1,5% de H_2O_2 . Ainda assim, os teores de carboxilas encontrados em todos os tratamentos foram maiores que os de carbonilas.

Comportamento semelhante foram verificados por Shirai et al. (2007) quando oxidaram amidos de milho ceroso e normal, de batata-doce e de mandioca-salsa com H_2O_2 e verificaram um aumento significativo do teor de carboxilas, em todas as fontes de amido estudadas. Tavares et al. (2010) trataram farinhas de arroz de diferentes teores de amilose com H_2O_2 e verificaram que as farinhas com médio e alto teores de amilose tiveram o mesmo comportamento.

Sangseethong; Termvejsayanon; Sriroth, (2010) oxidaram amido de mandioca com H_2O_2 (3% de concentração) e avaliaram a formação de carbonilas e carboxilas ao longo do tempo (350 min), verificaram um maior conteúdo de grupos carbonílicos (0,7%) do que carboxílicos (0,1%) e esses valores tiveram pouca oscilação durante o tempo de reação.

Wang e Wang (2003) oxidaram amido de milho com hipoclorito de sódio em concentrações que variaram de 0,25 a 3,0% e, da mesma forma que este estudo, também encontraram valores de carboxilas maiores que de carbonilas, tanto para amido normal como para amido ceroso. Mesma tendência observada por Neves et al. (2010) ao oxidarem farinha de arroz de baixa amilose com bissulfito de sódio.

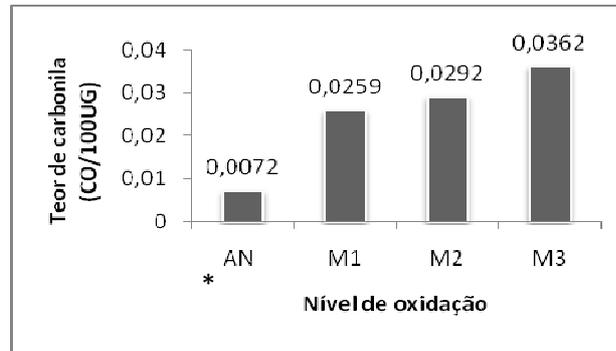


Figura 4 – Efeito da concentração de H_2O_2 sobre o teor total de grupos carbonilas em amido de aveia.

*AN: amido nativo; M1, M2 e M3: Amido oxidado 0,5%, 1,0% e 1,5% de H_2O_2 g amido⁻¹, respectivamente.

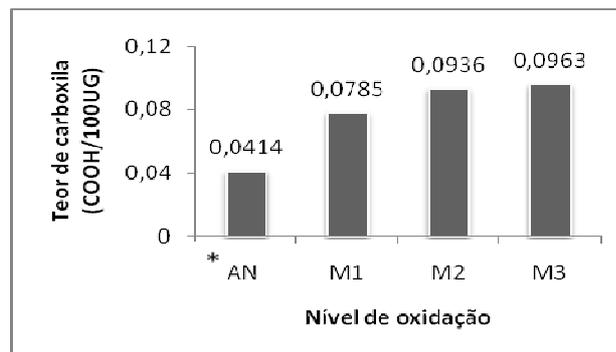


Figura 5 – Efeito da concentração de H_2O_2 sobre teor total de grupos carboxilas em amido de aveia.

*AN: amido nativo; M1, M2 e M3: Amido oxidado 0,5%, 1,0% e 1,5% de H_2O_2 g amido⁻¹, respectivamente.

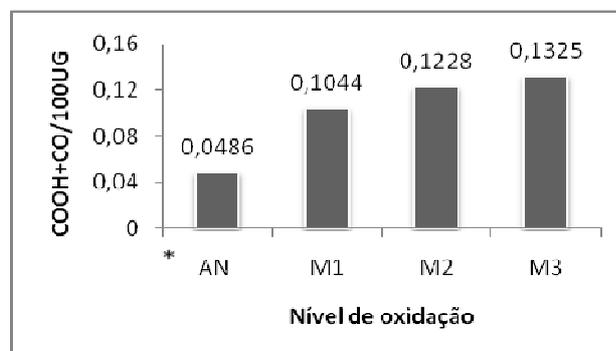


Figura 6 – Efeito da concentração de H_2O_2 sobre o teor total de grupos carbonila e carboxila no amido.

*AN: amido nativo; M1, M2 e M3: Amido oxidado 0,5%, 1,0% e 1,5% de H_2O_2 g amido⁻¹, respectivamente.

5.2.3 Poder de inchamento e solubilidade do amido de aveia

O poder de inchamento e a solubilidade constituem parâmetros determinados em temperaturas elevadas, as quais promovem a quebra de pontes de hidrogênio, ocasionando o intumescimento dos grânulos e o aumento da solubilidade do amido. Nas Fig. 7a e 7b podem ser observadas as curvas de poder de inchamento e de solubilidade, respectivamente, dos amidos de aveia nativo e oxidados com H_2O_2 .

O poder de inchamento indica a habilidade do amido em hidratar em condições específicas de cozimento. Neste estudo, o poder de inchamento e a solubilidade dos grânulos de amido foram menores naqueles oxidados com H_2O_2 e aumentaram à medida que houve o aumento da temperatura, em todos os tratamentos.

Observou-se que, mesmo depois de atingida a temperatura de gelatinização do amido de aveia, o poder de inchamento continuou aumentando. Isto se deve ao comportamento da suspensão de amido, ou seja, mesmo depois de ter atingido a temperatura limite, as pontes de hidrogênio continuam sendo quebradas, as moléculas de água se ligam aos grupos hidroxilas liberados e, conseqüentemente, os grânulos continuam intumescendo (LIMBERGER et al., 2008). Este comportamento também foi observado por Adebawale e Lawal (2002) e por Zavareze et al. (2010).

Lawal e Adebawale (2005) oxidaram amido de feijão com NaOCl e verificaram um comportamento semelhante, ao obtido neste estudo, para o poder de inchamento. Também foi observado este comportamento por Lawal (2004) em amido de taioba.

Wang e Wang (2003) oxidaram amido de milho comum e ceroso com NaOCl em diferentes concentrações e verificaram que o poder de inchamento e a solubilidade foram diferentes para cada cultivar. No amido de milho comum oxidado, o poder de inchamento foi maior ou igual ao amido nativo, nas temperaturas de 75 e 85 °C, mas foi menor a 95 °C. Ao contrário, no amido de milho ceroso oxidado o poder de inchamento foi menor do que no amido nativo. A solubilidade do amido de milho comum aumentou gradativamente, conforme se elevou a temperatura e o nível de oxidação. No amido de milho ceroso, a solubilidade (85 e 95 °C) diminuiu quando

a concentração de NaOCl foi de até 1,0%, acima desta concentração a solubilidade aumentou, chegando a 100% (95 °C e 1,5% de NaOCl).

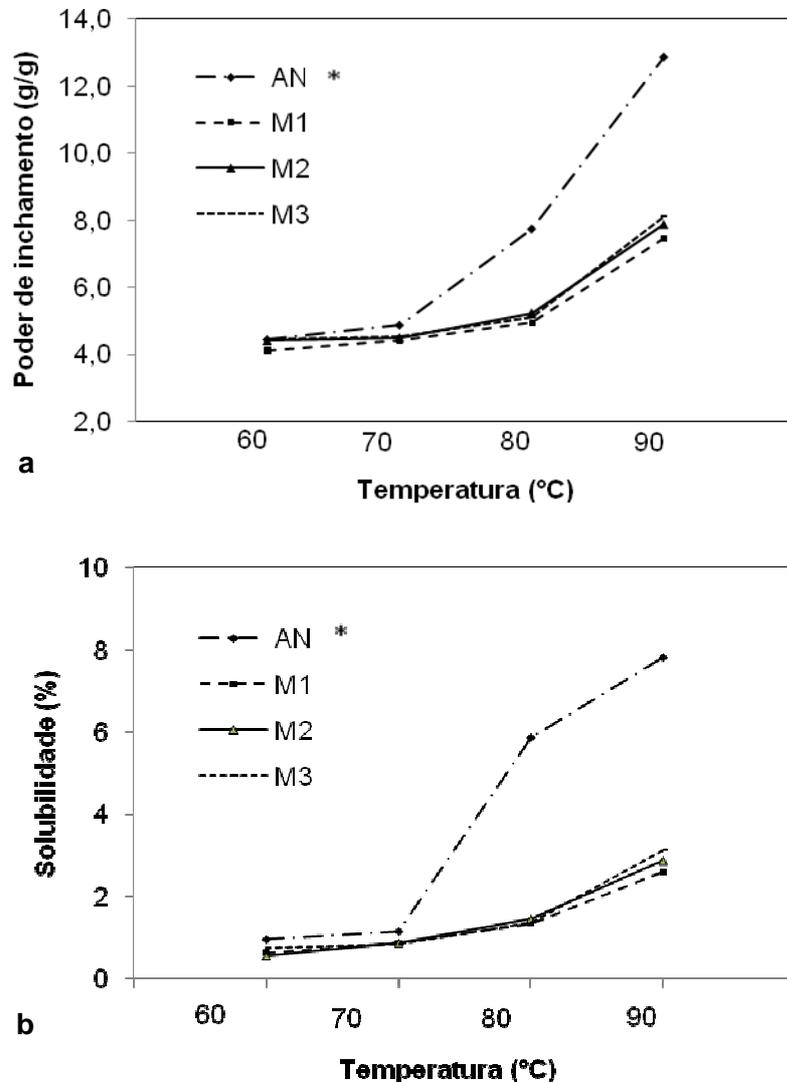


Figura 7 – Efeito da concentração de H₂O₂ sobre o poder de inchamento (a) e solubilidade (b) do amido de aveia.

*AN: amido nativo; M1, M2 e M3: Amido oxidado 0,5%, 1,0% e 1,5% de H₂O₂.g amido⁻¹, respectivamente.

Sandhu et al. (2008) oxidaram amidos de milho de diferentes cultivares com NaOCl e verificaram que o poder de inchamento diminuiu, quando comparado ao amido nativo. Estes autores observaram que o poder de inchamento do amido nativo foi maior que o do amido oxidado, variando de 1,6% a 5,5%, dependendo do cultivar.

Adebowale et al. (2005) oxidaram amido de *Artocarpus artilis* com NaOCl e verificaram que não houve diferença para o poder de inchamento entre o amido nativo e o oxidado em temperatura de até 70 °C. Porém, a 80°C o amido oxidado

teve um poder de inchamento levemente maior que o amido nativo. Observaram, também, que houve diminuição da solubilidade no amido oxidado, em todas as temperaturas estudadas (50, 60, 70, 80 °C).

5.2.4 Propriedade de geleificação

A análise de índice de geleificação indica a concentração mínima de amido em uma suspensão capaz de formar gel quando aquecido (LAWAL; ADEBOWALE, 2005). Esta propriedade dos amidos é uma qualidade desejável para as indústrias alimentares (ADEBOWALE; AFOLABI; OLU-OWOLABI, 2006).

Na tab. 6 pode-se observar o comportamento de geleificação do amido de aveia nativo e oxidado com H₂O₂, em diferentes concentrações.

Tabela 6. Propriedade de geleificação do amido de aveia nativo e oxidado

Concentração (%)	^a AN	M1	M2	M3
3	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido
6	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido
9	Líquido	Gel	Gel	Líquido
12	Gel	Gel	Gel	Gel
CMG*	12	9	9	12

*CMG: Concentração mínima de geleificação.

^aAN: amido nativo; M1, M2 e M3: Amido oxidado 0,5%, 1,0% e 1,5% de H₂O₂.g amido⁻¹, respectivamente.

A modificação química aplicada no amido de aveia nativo não alterou intensamente o seu perfil de geleificação. A concentração mínima formadora de gel variou entre 9 e 12%. Para a análise de textura de gel, padronizou-se a concentração de 12% para todas as amostras.

Os resultados encontrados neste estudo estão de acordo com alguns estudos prévios. Adebowale; Afolabi; Olu-Owolabi (2006) oxidaram amido de feijão com NaOCl e verificaram que a concentração mínima formadora de gel foi de 8%, enquanto que o amido nativo geleificou com 10%. Lawal (2004) oxidou amido de taioba com NaOCl e observou que a concentração mínima formadora de gel foi de 10%, enquanto que o amido nativo geleificou com 8%.

5.2.5 Perfil de textura

Nas Fig. 8, 9, 10, 11 e 12 podem ser observadas a dureza, a adesividade, a flexibilidade, a coesividade e a gomosidade, respectivamente, dos géis de amido de aveia nativo e oxidados com H_2O_2 . Esses parâmetros compõem o perfil de textura de cada amostra. As propriedades mecânicas do gel são dependentes da constituição do amido, bem como da interação destas moléculas, do volume, da deformação dos grânulos, da rigidez após a gelatinização e da interação entre as fases contínua e dispersa (CHOI; KERR, 2003).

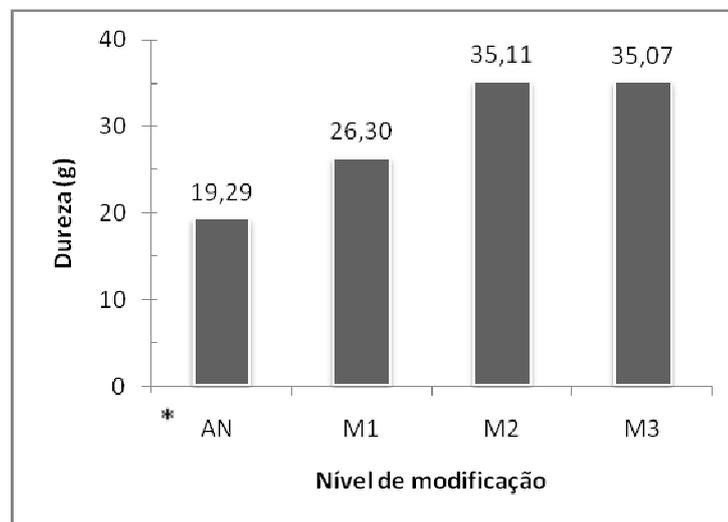


Figura 8 – Dureza do gel de amido de aveia submetido ao tratamento oxidativo com diferentes concentrações de H_2O_2 .

*AN: amido nativo; M1, M2 e M3: Amido oxidado 0,5%, 1,0% e 1,5% de H_2O_2 .g amido⁻¹, respectivamente.

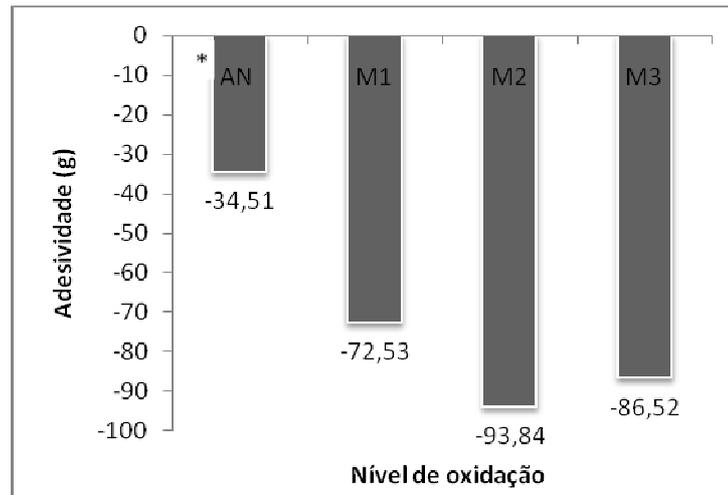


Figura 9 – Adesividade do gel de amido de aveia submetido ao tratamento oxidativo com diferentes concentrações de H_2O_2 .

*AN: amido nativo; M1, M2 e M3: Amido oxidado 0,5%, 1,0% e 1,5% de H_2O_2 g amido⁻¹, respectivamente.

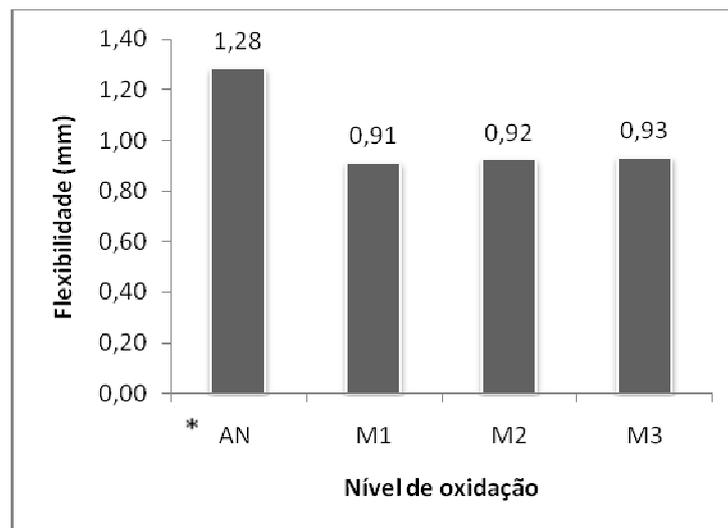


Figura 10 – Flexibilidade do gel de amido de aveia submetido ao tratamento oxidativo com diferentes concentrações de H_2O_2 .

*AN: amido nativo; M1, M2 e M3: Amido oxidado 0,5%, 1,0% e 1,5% de H_2O_2 g amido⁻¹, respectivamente.

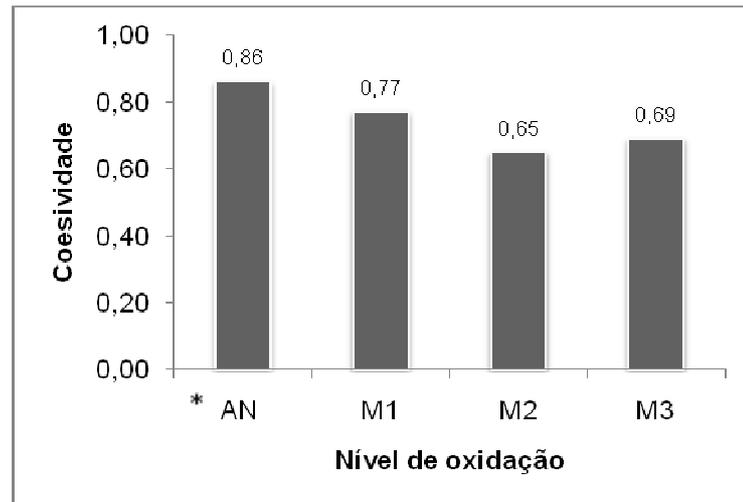


Figura 11 – Coesividade do gel de amido de aveia submetido ao tratamento oxidativo com diferentes concentrações de H_2O_2 .

*AN: amido nativo; M1, M2 e M3: Amido oxidado 0,5%, 1,0% e 1,5% de H_2O_2 g amido⁻¹, respectivamente.

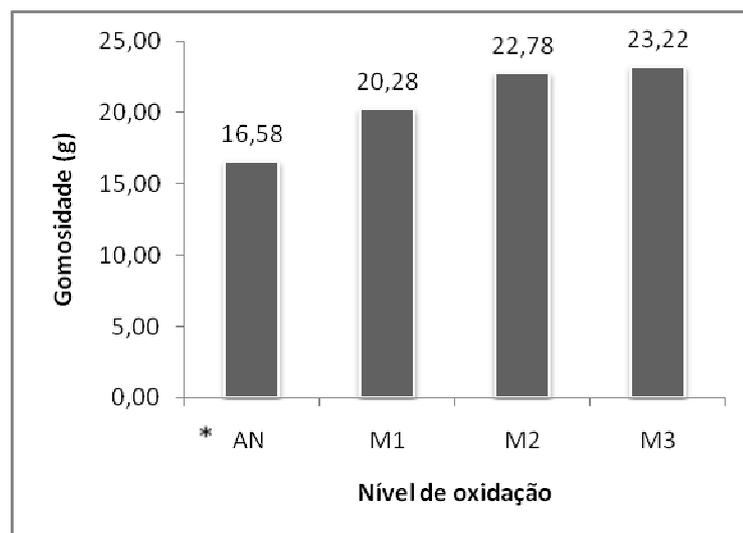


Figura 12 – Gomosidade do gel de amido de aveia submetido ao tratamento oxidativo com diferentes concentrações de H_2O_2 .

*AN: amido nativo; M1, M2 e M3: Amido oxidado 0,5%, 1,0% e 1,5% de H_2O_2 g amido⁻¹, respectivamente.

A dureza, medida em texturômetro, corresponde à força aplicada para morder e comprimir um alimento na boca (KALVIAINEN; ROININEN; TUORILA, 2000). Sendo que a força do gel tem sido reportada como dependente da capacidade de ligação das moléculas de amido à água por pontes de hidrogênio (LEE; OSMAN, 1991). Neste estudo a dureza foi maior nos amidos oxidados, sendo

que os amidos com 1% e 1,5% de H₂O₂ não diferiram entre si, para este parâmetro (Fig. 8).

A adesividade é a força negativa que um material exerce para desgrudar da amostra, ou seja, quanto mais negativa esta força, maior é a adesividade da amostra. Neste estudo essa medida foi significativamente diferente entre os níveis de oxidação do amido. O amido oxidado com 1% de H₂O₂ foi o mais adesivo (-93,84 g), enquanto o amido nativo obteve o maior valor (-34,51) sendo o menos adesivo (Fig. 9).

Os géis elaborados com os amidos oxidados com 1,0 ou 1,5% de H₂O₂ apresentaram menor flexibilidade e coesividade, ou seja, o tratamento mais drástico, onde ocorreu uma maior modificação, tornou o amido mais sensível ao rompimento.

A gomosidade é a força necessária para desintegrar um material semi-sólido e corresponde, sensorialmente, à energia requerida para desintegrar um alimento semi-sólido para um estado pronto a ser engolido, sem mastigar. No presente estudo, os amidos oxidados obtiveram valores superiores ao amido nativo.

5.2.6 Análise térmica

A transição vítrea é uma manifestação macroscópica de mudança na mobilidade de moléculas na fase amorfa. A mobilidade molecular inclui movimentos vibracional, rotacional e translacional que são ativados sob condições específicas (TAN et al., 2004). É medida através da Calorimetria diferencial de varredura (DSC), onde é fornecido as medidas quantitativas do fluxo de calor associado a gelatinização, em que os picos endotérmicos são indicativos de fusão (ZAVAREZE et al., 2010).

A natureza apolar dos grupos funcionais presentes nos polissacarídeos indica que as interações entre as moléculas são relativamente fortes. Como resultado, espera-se que a temperatura de transição vítrea se encontre ao redor de 200 °C (GALDEANO, 2001). Porém, tal temperatura causa a degradação térmica das moléculas, não sendo possível observar o comportamento da transição vítrea diretamente. Para isto, tem sido adotado o estudo do efeito plastificante de diluentes como a água, sobre a temperatura de gelatinização (T_g), uma vez que estes exercem efeito na diminuição desta temperatura (GALDEANO, 2007).

A T_g é característica do tipo de amido e depende da transição vítrea da fração amorfa do amido. Os parâmetros de gelatinização do amido de aveia nativo e oxidados estão apresentados na tab. 7, sendo eles: temperatura inicial (T_i), temperatura de pico (T_p), temperatura final (T_f) e entalpia de gelatinização (ΔH), bem como a diferença de $T_f - T_i$, que sugere o grau de heterogeneidade dos cristais.

Tabela 7. Análise térmica de gelatinização dos amidos de aveia nativo e modificados

^a Tratamento	* T_i (°C)	T_p (°C)	T_f (°C)	ΔT ($T_f - T_i$)	ΔH (J/g)
AN	57,42	62,85	67,71	10,29	7,15
M1	59,72	63,16	67,70	7,98	7,90
M2	58,51	62,76	67,88	9,37	7,39
M3	58,78	62,86	68,09	9,31	6,33

* T_i : Temperatura inicial (°C); T_p : Temperatura de pico (°C); T_f : Temperatura final (°C); ΔT ($T_f - T_i$) grau de heterogeneidade do tamanho dos cristais; ΔH : entalpia (J/g).

^aAN: amido nativo; M1, M2 e M3: Amido oxidado 0,5%, 1,0% e 1,5% de H_2O_2 /g amido⁻¹, respectivamente.

Foi verificado um pequeno aumento na T_i no amido de aveia oxidado quando comparado ao amido nativo. Resultados que estão de acordo com os encontrados por Sangseethong; Termvejsayanon; Sriroth, (2010) em amido de mandioca oxidado com H_2O_2 . Estes autores atribuíram o incremento na temperatura à despolimerização da região amorfa do grânulo que desestabiliza a lamela cristalina. Primeiramente, a região amorfa é degradada e sua desestabilização afeta a região cristalina.

O amido oxidado com 1,5% de H_2O_2 teve a entalpia (6,33 J/g) menor que o amido nativo (7,15). No entanto, com menor nível de oxidação a entalpia foi maior, quando comparada ao amido nativo.

Berski et al. (2010), oxidou amido de aveia com NaOCl e não verificou diferença entre o amido nativo e oxidado.

Os termogramas de DSC dos amidos de aveia nativo e oxidados estão apresentados na Fig. 13.

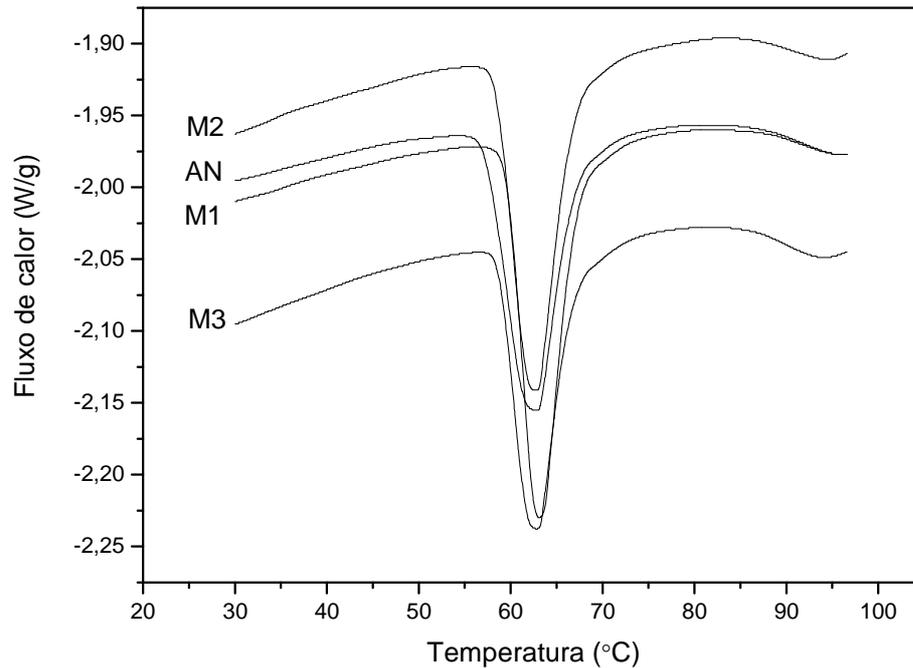


Figura 13 – Termogramas de DSC da gelatinização de amido de aveia nativo e oxidado.

*AN: amido nativo; M1, M2 e M3: Amido oxidado 0,5%, 1,0% e 1,5% de H_2O_2 /g amido⁻¹, respectivamente.

Os termogramas são típicos dos amidos de cereais, onde a endoterma é atribuída à gelatinização das lamelas cristalinas de amilopectina.

5.3 Aplicação de β -glicana e de amido de aveia nativo e oxidado na elaboração de pães com farinha de arroz

5.3.1 Composição centesimal da farinha de arroz e teor de amilose

A farinha de arroz do cultivar IRGA-424 foi caracterizada quanto à sua composição centesimal. Constituiu-se de 13,3% de umidade, 7,9% de proteína, 0,6% de extrato etéreo, 0,7% de cinzas e 78,53% de carboidratos e apresentou 32,2% de amilose (bs). O conteúdo de proteínas está de acordo com o encontrado por Storck et al. (2009) e por Zavareze et al. (2009). Segundo Coffman e Juliano (1987), o teor de proteína na farinha de arroz varia entre 4,3 a 18,2%, sendo o

segundo maior constituinte desta matéria-prima e decisivo na qualidade dos produtos elaborados. O conteúdo de cinzas, extrato etéreo e carboidratos também estão dentro das variações normais para esta farinha de arroz (COFFMAN; JULIANO, 1987; JULIANO; FAO, 1993; STORCK et al., 2009; ZAVAREZE et al. 2009). De acordo com a classificação proposta por Juliano e FAO (1993), a farinha de arroz utilizada nesse estudo classifica-se como de alto teor de amilose.

5.3.2 Capacidade de absorção de água

A capacidade de absorção de água (CAA) das farinhas é uma medida importante na panificação, pois influencia diretamente a qualidade final dos produtos, sendo dependentes deste parâmetro propriedades como a textura, volume e vida de prateleira (STORCK, 2009).

Na tab. 8 estão apresentados os resultados da CAA com as análises estatísticas. A concentração de β -glicana influenciou significativamente ($\alpha < 0,05$) a CAA das misturas adicionadas dos amidos nativo e oxidados, nas duas concentrações testadas. Conforme se aumentou a concentração da β -glicana, a CAA foi incrementada.

Comportamentos similares foram verificados em estudos anteriores, quando a β -glicana isolada foi adicionada à farinha de arroz (LAZARIDOU, 2007) ou quando arabinosilanas purificadas (BILIADERIS; IZYDORCZYK; RATTAN, 1995), farinhas de diferentes fontes enriquecidas com β -glicana (KNUCKLES et al., 1997; CAVALLERO et al., 2002) ou β -glicana isolada e purificada (SKENDI et al., 2009; SKENDI; PAPAGEORGIOU; BILIADERIS, 2009) foram adicionadas à farinha de trigo.

O tratamento 26 (3% de β -glicana e M3 20%) foi o que resultou na maior CAA, diferindo, significativamente, dos tratamentos com 100 % farinha de arroz ou com substituição da farinha de arroz por amido de aveia nativo. Este resultado demonstra que o amido com maior nível de oxidação combinado com a β -glicana incrementa a absorção de água da mistura. Lawal (2004) oxidou amido de taioba e verificou um aumento na CAA deste.

5.3.3 Poder de inchamento e solubilidade

O poder de inchamento dos tratamentos pode ser observado na tab. 9. Pode-se verificar que quanto maior a adição de amido e quanto maior o nível de oxidação menor o poder de inchamento da mistura. Ocorreu maior intumescimento dos grânulos nas temperaturas de 70 e 80 °C. A adição de β -glicana não alterou, significativamente, o poder de inchamento em nenhuma das quatro temperaturas estudadas (60, 70, 80 e 90 °C).

A solubilidade dos tratamentos está apresentada na tab. 10. Esta foi máxima na temperatura de 80 °C. A concentração de β -glicanas influenciou, significativamente, a solubilidade. Estes resultados já eram esperados, pois a β -glicana consiste em uma molécula solúvel em água.

Tabela 8. Capacidade de absorção de água da farinha de arroz adicionada de diferentes concentrações de β -glicana e amido de aveia nativo e oxidado (%)

β -glicana (%)	^a Amido								
	0	AN 10%	AN 20%	M1 10%	M1 20%	M2 10%	M2 20%	M3 10%	M3 20%
0	248,99 c A	237,89 b AB	217,43 c B	230,57 b AB	214,67 c B	227,55 b AB	226,33 b AB	233,15 c AB	231,97 b AB
1	260,87 b A	240,05 b BC	230,62 b BC	228,22 b C	225,49 b C	240,29 b BC	234,83 b BC	249,37 b AB	242,46 b ABC
3	273,09 a B	273,57 a B	273,99 a B	276,86 a AB	276,24 a AB	279,40 a AB	275,95 a AB	284,32 a AB	286,95 a A

*Os valores seguidos da mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

^aAN: amido nativo; M1, M2 e M3: Amido oxidado 0,5%, 1,0% e 1,5% de H_2O_2 .g amido⁻¹, respectivamente.

Tabela 9. Poder de inchamento da farinha de arroz adicionada de diferentes concentrações de β -glicana e amido de aveia nativo e oxidado (g.g^{-1})

β - glicana (%)	^a Amido								
	0	AN 10%	AN 20%	M1 10%	M1 20%	M2 10%	M2 20%	M3 10%	M3 20%
PODER DE INCHAMENTO 60 °C									
0	4,36 b B*	5,70 a A	5,24 a A	5,02 a AB	5,33 a A	5,77 a A	5,22 a AB	5,57 a A	5,34 a A
1	6,06 a A	4,86 b B	4,81 a B	4,83 a B	5,46 a AB	5,71 a AB	4,99 a AB	5,59 a AB	5,12 a AB
3	4,81 ab A	4,89 b A	4,74 a A	4,81 a A	5,65 a A	5,40 a A	5,34 a A	5,39 a A	5,39 a A
PODER DE INCHAMENTO 70 °C									
0	7,18 a AB	6,35 a BCD	6,52 a BC	7,60 a A	5,44 a D	6,65 a BC	6,45 a BC	6,44 a BC	5,93 a CD
1	6,29 b BC	6,11 a C	6,99 a AB	7,51 a A	5,93 a C	6,11 a C	6,09 a C	6,28 a BC	5,96 a C
3	6,72 ab AB	6,54 a AB	6,72 a AB	7,28 a A	5,80 a B	6,32 a AB	5,57 b B	6,48 a AB	5,93 a B
PODER DE INCHAMENTO 80 °C									
0	6,95 a AB	6,79 a AB	6,81 a AB	6,50 b B	7,45 a A	7,14 a AB	6,44 a B	6,64 a AB	6,63 a AB
1	7,31 a A	6,78 a A	6,98 a A	6,93 b A	6,95 a A	6,92 a A	6,62 a A	6,54 a A	6,50 a A
3	6,84 a BC	6,74 a BC	6,60 a BC	8,06 a A	6,87 a BC	7,25 a B	6,68 a BC	6,46 a C	6,63 a BC
PODER DE INCHAMENTO 90 °C									
0	4,36 a B	5,70 a A	5,24 a A	5,02 a AB	5,33 b A	5,77 b A	5,22 a AB	5,57 b A	5,34 a A
1	6,06 a A	4,86 a B	4,81 a B	4,83 a B	5,46 a AB	5,71 b AB	4,99 a AB	5,59 abAB	5,12 a AB
3	4,81 a A	4,89 a A	4,74 a A	4,81 a A	5,65 a A	5,40 a A	5,34 a A	5,39 a A	5,39 a A

*Para cada temperatura avaliada os valores seguidos da mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

^aAN: amido nativo; M1, M2 e M3: Amido oxidado 0,5%, 1,0% e 1,5% de H_2O_2 .g amido⁻¹, respectivamente.

Tabela 10. Solubilidade da farinha de arroz adicionada de diferentes concentrações de β -glicana e amido nativo de aveia nativo e oxidado (%)

β -glicana (%)	^a Amido								
	0	AN10%	AN 20%	M1 10%	M1 20%	M2 10%	M2 20%	M3 10%	M3 20%
SOLUBILIDADE 60 °C									
0	2.25 c AB	2.20 c AB	1.94 c B	2.16 c AB	2.53 c A	2.29 b AB	2.05 c B	2.11 c AB	2.00 b B
1	3.28 b A	3.28 b A	2.92 b AB	2.98 b AB	3.30 b A	3.23 ab A	2.94 b AB	2.99 b AB	2.53 b B
3	5.01 a A	4.67 a AB	4.52 a AB	4.37 a ABC	4.18 a BC	3.97 a BC	4.20 a BC	4.18 a BC	3.62 a C
SOLUBILIDADE 70 °C									
0	3.32 b AB	2.94 b BC	2.99 c BC	3.90 a A	2.57 b C	2.62 b BC	2.77 a BC	2.70 a BC	2.44 c C
1	4.67 a A	3.35 b B	3.96 b AB	4.28 a AB	3.23 b B	4.07 b AB	3.51 a AB	4.08 a AB	3.75 b AB
3	5.28 a ABC	5.79 a ABC	4.82 a BC	4.63 a BC	4.88 a ABC	6.03 a ABC	6.62 a A	4.38 a C	6.26 a AB
SOLUBILIDADE 80 °C									
0	3.52 c A	3.70 c A	3.74 b A	3.48 b A	3.54 b A	3.31 b A	3.28 c A	3.28 b A	3.31 a A
1	5.52 b A	5.29 b AB	5.63 a A	4.17 b BC	3.95 b C	5.53 ab A	4.21 b BC	4.51 b ABC	3.25 a C
3	8.43 a A	8.26 a A	5.52 a CD	5.82 a BCD	4.89 a CD	6.17 a BC	5.08 a CD	7.37 a AB	4.14 a D
SOLUBILIDADE 90 °C									
0	2.25 b AB	2.20 a AB	1.94 a B	2.16 a AB	2.53 b A	2.29 b AB	2.05 a B	2.11 a AB	2.00 a B
1	3.28 ab A	3.28 a A	2.92 a AB	2.98 a AB	3.30 a A	3.23 b A	2.94 a AB	2.99 a AB	2.53 a B
3	5.08 a A	4.67 a AB	4.52 a AB	4.37 a ABC	4.18 b BC	3.97 a BC	4.20 a BC	4.18 a BC	3.62 a C

* Para cada temperatura avaliada os valores seguidos da mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

^aAN: amido nativo; M1, M2 e M3: Amido oxidado 0,5%, 1,0% e 1,5% de H_2O_2 .g amido⁻¹, respectivamente.

5.3.4 Geleificação

A partir da análise de geleificação dos tratamentos, elaborados com farinha de arroz, β -glicanas e amido de aveia nativo e modificado, podemos verificar o comportamento destes constituintes quando aquecidos em um meio aquoso. Na tab. 11 pode-se observar a geleificação das misturas. Verificou-se que os tratamentos que foram adicionados de 3% de β -glicanas geleificaram, independente do grau de oxidação dos amidos. Aqueles tratamentos que foram adicionados de 1% de β -glicanas somente geleificaram nos tratamentos 7 e 13 (AN 20% e M1 20%), chama-se a atenção para estes tratamentos por eles terem ficado muito viscosos, demonstrando a interação entre estes polímeros. Os tratamentos com adição de amido com maior nível de oxidação formou soluções menos viscosas, que formaram gel somente quando adicionou-se 3% de β -glicanas.

Baseado na alta capacidade de absorção de água, evidenciou-se a presença marcante de interações do tipo de agente geleificante-água. Chaud e Sgarbieri (2006) supõem como mecanismos de geleificação a imobilização de água por adsorção. Contudo, este mecanismo, talvez não seja o único responsável pela geleificação, mas provavelmente exerce um efeito predominante, pois algumas das amostras que não continham β -glicana não geleificaram.

5.3.4 Textura de gel

Sistemas contendo hidrocolóides e amidos sugerem a ocorrência de um efeito sinérgico entre esses ingredientes. Os fatores que interferem nesta interação e, como ocorre ainda não estão totalmente esclarecidos, mas há evidências de que os hidrocolóides promovem a estabilidade dos géis de amidos. Alguns trabalhos estão direcionados no sentido de esclarecer o exato mecanismo de interação entre os hidrocolóides e os componentes do amido (SUDHAKAR; SINGHAL; KULKARNI, 1996; MUNHOZ; WEBER; CHANG, 2004)

Tabela 11. Características de geleificação dos tratamentos elaborados a partir de farinha de arroz e diferentes concentrações de β -glicana e amido nativo e oxidados

Tratamento	Concentração (%)			
	3	6	9	12
Controle	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido
1	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido
2	Líquido	Líquido	Líquido	Gel
3	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido
4	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido
5	Líquido	Líquido	Líquido	Gel
6	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido
7	Líquido	Líquido	Líquido	Gel
8	Líquido	Líquido	Líquido	Gel
9	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido
10	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido
11	Líquido	Líquido	Gel	Gel
12	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido
13	Líquido	Líquido	Líquido	Gel
14	Líquido	Líquido	Gel	Gel
15	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido
16	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido
17	Líquido	Líquido	Líquido	Gel
18	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido
19	Líquido	Líquido	Líquido	Gel
20	Líquido	Líquido	Gel	Gel
21	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido
22	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido
23	Líquido	Líquido	Líquido	Gel
24	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido
25	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido
26	Líquido	Líquido	Líquido	Gel

A textura de gel das misturas de farinha de arroz, β -glicanas e amido de aveia nativo e oxidado pode ser observada na tab. 12. Verifica-se que a dureza de gel não foi alterada, significativamente, nos tratamentos sem adição de amido e com a adição de amido nativo e oxidado com até 1,0% de H_2O_2 , e nesses tratamentos a β -glicana não influenciou neste parâmetro. A adição de amido tratado com 1,5% de H_2O_2 elevou a dureza, a adesividade e diminuiu a gomosidade. Nesses tratamentos a adição de 3% de β -glicana reduziu a dureza.

Os tratamentos com a substituição da farinha de arroz por 20% de amido nativo mostraram-se interessantes, pois resultaram em baixos valores de dureza e adesividade, sendo coesos e gomosos. A adição de β -glicana, nesses tratamentos, intensificou os parâmetros observados. A flexibilidade não foi influenciada pelas variáveis estudadas.

Munhoz; Weber; Chang, (2004) adicionaram goma xantana e goma guar em amido de milho de alta amilose (71%) e verificaram que os tratamentos com adição de goma xantana apresentaram os menores valores de força de gel.

Mandala; Palogou e Kostaropoulos, (2002) estudaram o efeito da goma xantana em géis de amido de batata com relação à dureza durante o armazenamento a 5°C, verificaram que esta goma contribuiu, significativamente, para a melhoria da textura dos géis no sentido de que promoveu uma diminuição da dureza dos géis.

Tabela 12. Perfil de textura do gel elaborado com farinha de arroz e diferentes concentrações de β -glicana e amido de aveia nativo e oxidado

β -glicana (%)	^a Amido								
	0	AN 10%	AN 20%	M1 10%	M1 20%	M2 10%	M2 20%	M3 10%	M3 20%
DUREZA (g)									
0	42,98 a B	50,56 a B	20,73 a B	42,69 a B	32,45 a B	67,82 a B	121,13 a B	145,01 b B	417,13 a A
1	64,10 a C	22,22 b C	15,15 a C	33,79 b C	27,01 a C	58,53 a C	129,30 a BC	335,25 a AB	443,49 a A
3	51,55 a B	21,09 b B	16,98 a B	48,88 a B	20,30 a B	56,24 a B	85,64 a B	117,27 b B	251,57 b A
ADESIVIDADE (g.s⁻¹)									
0	-205,63 a AB	-205,10 b AB	-78,40 b A	-185,33 a AB	-134,16 a AB	-261,75 b BC	-372,01 a CD	-386,28 a CD	-425,67 a D
1	-211,61 a CD	-64,66 a AB	-26,33 a A	-138,03 a ABC	-91,49 a AB	-151,08 a BC	-295,72 a D	-447,63 a E	-493,61 a E
3	-236,03 a CDE	-59,36 a AB	-5,29 a A	-146,51 a ABCD	-110,85 a ABC	-182,10 ab BCD	-289,90 a DE	-383,47 a E	-395,00 a E
FLEXIBILIDADE (mm)									
0	0,92 a A	0,91 a A	0,93 a A	0,94 a A	0,94 a A	0,93 a A	0,94 a A	0,93 a A	0,94 a A
1	0,91 a A	0,96 a A	0,96 a A	0,95 a A	0,96 a A	0,94 a A	0,94 a A	0,94 a A	0,95 a A
3	0,95 a A	0,91 a AB	0,83 b B	0,90 a AB	0,92 a AB	0,92 a AB	0,95 a A	0,95 a A	0,94 a A
COESIVIDADE									
0	0,59 a AB	0,62 a AB	0,66 a A	0,58 a B	0,59 a AB	0,59 a AB	0,58 a B	0,55 a B	0,38 a C
1	0,61 a B	0,68 a AB	0,74 a A	0,65 a AB	0,64 a B	0,60 a BC	0,50 b CD	0,34 b E	0,40 a DE
3	0,65 a A	0,62 a A	0,62 a A	0,54 a AB	0,56 a AB	0,55 a AB	0,49 b AB	0,39 b B	0,37 a B
GOMOSIDADE (g)									
0	0,59 a B	0,62 a B	0,66 a B	0,58 a B	0,59 a B	0,59 a B	0,58 a AB	0,55 a AB	0,38 a A
1	0,61 a B	0,68 a B	0,74 a B	0,65 a B	0,64 a B	0,60 a B	0,50 b B	0,34 b AB	0,40 a A
3	0,65 a B	0,62 a B	0,62 a B	0,54 a B	0,56 a B	0,55 a B	0,49 b B	0,39 b B	0,37 a A

* Para cada atributo avaliado os valores seguidos da mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

^aAN: amido nativo; M1, M2 e M3: Amido oxidado 0,5%, 1,0% e 1,5% de H₂O₂.g amido⁻¹, respectivamente.

5.3.5 Textura da massa crua

A textura da massa de pão crua, formulada com farinha de arroz adicionada de um concentrado de β -glicanas e de amido de aveia nativo ou modificado, foi avaliada através da análise do perfil de textura (TPA). Segundo Marco e Rosell (2008) e Storck et al. (2009) essa análise é um bom indicador da estrutura molecular de polímeros e, assim, da performance do produto final. Da mesma forma como são utilizadas com sucesso as análises reológicas em farinha de trigo (com glúten), com a finalidade de prever a funcionalidade na panificação (BOLLAIN; ANGIOLONI; COLLAR, 2006), análises reológicas da matriz da massa sem glúten pode auxiliar a definir sua funcionalidade (STORCK et al., 2009).

Os parâmetros dureza, adesividade e gomosidade foram afetados em cada mistura de forma diferente e estão apresentados na tab. 13. A flexibilidade e a coesividade não foram modificadas nem pela β -glicana nem pela adição de amido nativo ou modificado à farinha de arroz.

Observou-se que a adição de 3% de β -glicana aumentou a dureza da massa de todas as formulações, exceto nos tratamentos 8 (20% de AN) e 13 (20% de M1). Provavelmente, este comportamento é devido à maior capacidade de absorção de água desta fibra, em relação aos demais componentes contidos na farinha de arroz e no amido de aveia, o que torna a massa muito consistente. A menor dureza foi encontrada no tratamento 10 (1% de β -glicanas e 10% de M1), seguido pelo tratamento 3 (sem β -glicana e com 10% de AN).

Os tratamentos 12, 13 e 14 (M1 20% e 0%, 1% e 3% de β -glicanas, respectivamente) obtiveram valores extremos de dureza (4746,26 g), adesividade (-6601,86 g) e gomosidade (583,19 g).

A menor gomosidade para a massa crua foi verificada nos tratamentos 1, 2 e 10 (controle; sem amido com 1% de β -glicanas e 1% de β -glicanas com 10% de M1, respectivamente). Pode-se verificar que níveis menores de β -glicana produzem massas mais macias, com menor gomosidade e menos adesivas.

Os tratamentos com 1% de β -glicanas (exceto o tratamento 13) foram menos adesivos que os tratamentos sem adição ou com 3% desta fibra.

Tabela 13. Perfil de textura da massa crua elaborada com farinha de arroz e diferentes concentrações de β -glicana e amido de aveia nativo e oxidados

β - glicana (%)	^a Amido								
	0% amido	AN 10%	AN 20%	M1 10%	M1 20%	M2 10%	M2 20%	M3 10%	M3 20%
DUREZA (g)									
0	1183,00 b EF	1091,86 c F	1831,45 a CD	2727,14 a B	4746,26 a A	2325,93 b BC	2321,29 b BC	1741,92 b DE	1734,48 c DE
1	1218,24 b DE	1551,61 b CD	2201,94 a B	980,63 b E	3823,28 b A	1997,15 b BC	2258,86 b B	1550,25 b CD	2150,67 b B
3	2892,60 a BC	3213,93 a B	2142,91 a C	2733,39 a BC	4055,35 ab A	3116,70 a B	2809,65 a BC	2881,53 a B	2577,54 a BC
FLEXIBILIDADE (mm)									
0	0,83 a A	0,96 a A	0,84 a A	0,91 a A	0,93 a A	0,85 a A	0,83 a A	0,55 b B	0,83 a A
1	0,76 a A	0,88 a A	0,70 a A	0,89 a A	0,82 a A	0,85 a A	0,83 a A	0,86 a A	0,87 a A
3	0,90 a A	1,04 a A	0,82 a A	0,93 a A	0,93 a A	0,93 a A	0,93 a A	0,93 a A	0,92 a A
ADESIVIDADE (g.s⁻¹)									
0	-2743,94 b BC	-1629,31 a A	-2564,10 a B	-3451,22 b C	-4502,51 a D	-2940,09 a BC	-3241,31 a C	-2296,30 a B	-2365,17 a B
1	-2010,22 a AB	-2455,62 a AB	-2834,52 a AB	-1150,02 a A	-3998,34 a B	-2277,71 a AB	-2873,62 a AB	-2142,69 a AB	-1556,49 a A
3	-6051,75 c DE	-5448,56 b CDE	-3665,74 b A	-4420,17 c ABC	-6601,86 b E	-4852,31 b BCD	-4393,98 b ABC	-3900,60 b AB	-4122,01 b AB
GOMOSIVIDADE (g)									
0	128,13 b C	170,69 b BC	161,02 b BC	290,65 a B	583,19 a A	226,37 b BC	218,94 b BC	150,03 b C	180,79 c BC
1	114,93 b D	147,90 b CD	239,34 a BC	127,32 b D	491,91 a A	186,86 b BCD	229,89 b BC	151,06 b CD	248,99 b B
3	324,95 a BCD	450,99 a AB	223,47 a D	303,04 a CD	543,66 a A	367,42 a BC	340,93 a BCD	303,07 a CD	368,31 a BC
COESIVIDADE									
0	0,10 ab BC	0,16 a A	0,09 b C	0,09 a BC	0,11 a B	0,12 a BC	0,95 b BC	0,87 b C	0,09 b BC
1	0,09 b C	0,10 b BC	0,11 a ABC	0,11 a A	0,13 a AB	0,12 a BC	0,11 ab ABC	0,09 b BC	0,11 ab ABC
3	0,11 a AB	0,15 a A	0,11 a B	0,11 a AB	0,12 a AB	0,13 a B	0,12 a AB	0,13 a AB	0,12 a B

* Para cada atributo avaliado os valores seguidos da mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

^aAN: amido nativo; M1, M2 e M3: Amido oxidado 0,5%, 1,0% e 1,5% de H₂O₂.g amido⁻¹, respectivamente.

A influência das β -glicanas na qualidade da massa de pães pode ser atribuída às características deste polímero como: as diferenças no peso molecular, a solubilidade e a concentração das cadeias de polissacarídeos no concentrado.

A adição de β -glicanas causou o aumento da absorção de água em todas as formulações (tab. 8). Desta forma, as características obtidas nas massas formuladas com β -glicana têm sido atribuídas à alta capacidade de absorção de água deste polissacarídeo e à sua habilidade de competir pela água com os demais constituintes da massa.

Também pode influenciar na qualidade da massa, o tipo de farinha usada (SKENDI et al., 2009).

5.3.6 Avaliação dos pães

Os pães resultantes dos tratamentos realizados estão ilustrados na Fig. 14.

O volume específico e a perda de água durante o forneamento dos pães, elaborados com farinha de arroz adicionada de diferentes concentrações de β -glicana e de amidos nativo e modificados, estão apresentados na tab. 14.

O tratamento 25 (1% de β -glicana e 20% de M3) foi o que apresentou maior volume específico, entre os pães adicionados de amido oxidado. O amido quando oxidado adquire a característica de expansão e também a característica de formar filmes. Provavelmente os amidos oxidados com um nível menor que 1,5% de H_2O_2 apresentaram esta característica de forma muito reduzida pelo baixo nível de modificação ocorrida (Fig. 4 e 5).

Nos tratamentos com 10% e 20% de amido nativo, a adição de 1% de β -glicana não modificou o volume dos pães, em relação aos sem adição desta fibra e obtiveram volumes estatisticamente iguais ao tratamento 25.

A adição de 1% de β -glicana na farinha de arroz, sem adição de amido, aumentou o volume. Estes resultados indicam que a β -glicana age no sistema formando uma película que torna a massa mais resistente ao escape do CO_2 formado na fermentação, porém quando é adicionada em níveis mais altos age de forma contrária, restringindo a expansão da massa. Resultados semelhantes foram encontrados em estudos prévios.

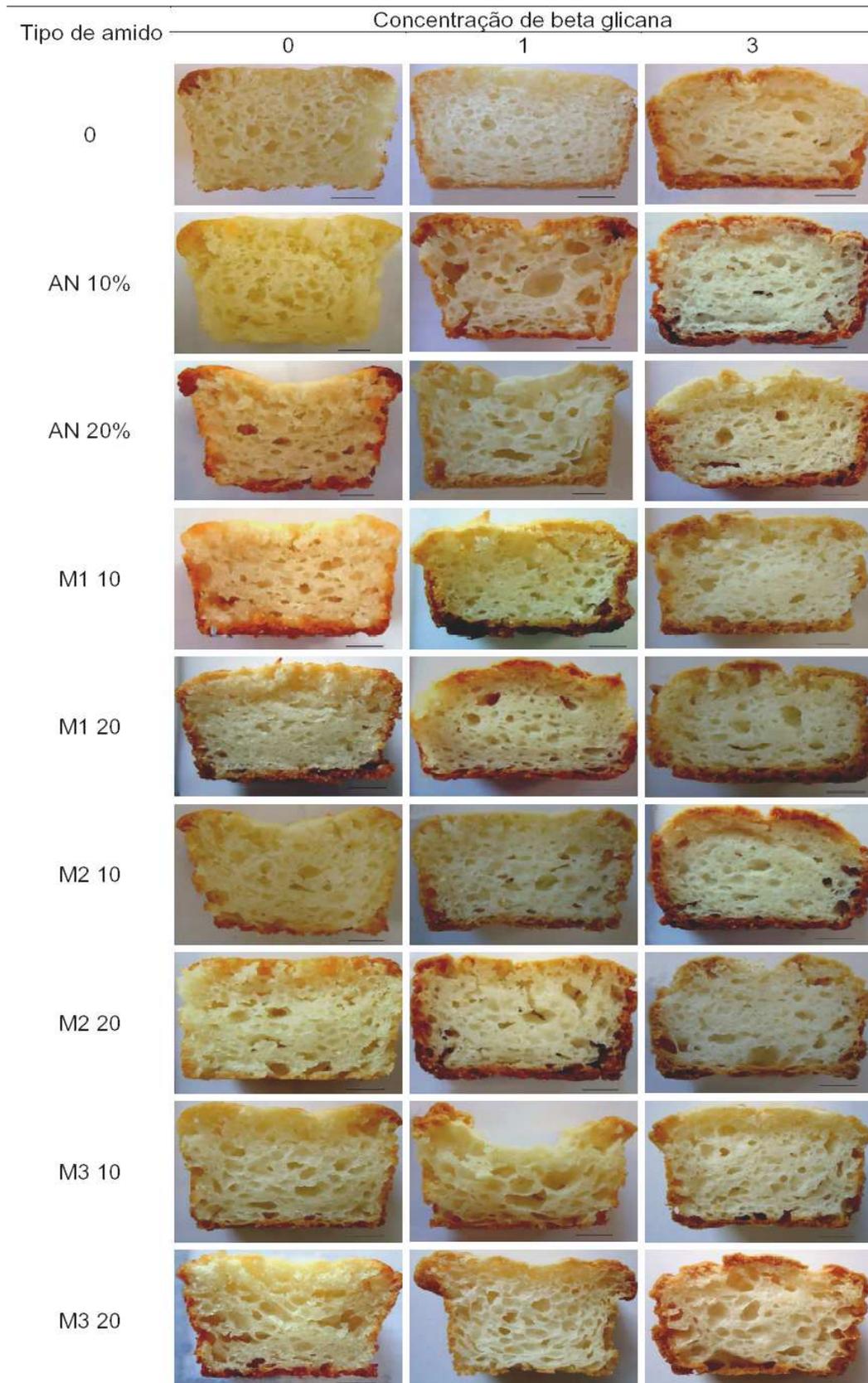


Figura 14 – Cortes transversais de pães elaborados com farinha de arroz adicionados de β -glicana e de amido de aveia nativo ou oxidado.

^aAN: amido nativo; M1, M2 e M3: amido oxidado 0,5%, 1,0% e 1,5% de H_2O_2 .g amido⁻¹, respectivamente. — 1 cm.

Tabela 14. Volume específico e perda de peso ao assar dos pães elaborados com farinha de arroz e diferentes concentrações de β -glicana e amido de aveia nativo e oxidado

β -glicana (%)	^a Amido								
	0	AN 10%	AN 20%	M1 10%	M1 20%	M2 10%	M2 20%	M3 10%	M3 20%
VOLUME ESPECÍFICO (ml.g⁻¹)									
0	1,61 b C	2,16 a A	2,05 a AB	1,55 a C	1,41 b C	1,79 a ABC	1,61 a C	1,76 a BC	2,03 b AB
1	1,85 a B	2,07 a A	2,21 a A	1,48 a C	1,63 a C	1,57 a C	1,60 a C	1,59 b C	2,26 a A
3	1,37 c C	1,49 b BC	1,46 b BC	1,27 b C	1,51 ab BC	1,49 a BC	1,54 a BC	1,74 a AB	1,97 b A
PERDA DE PESO AO ASSAR (%)									
0	24,51 b F	36,23 a BC	39,99 a AB	35,63 b C	33,55 b C	32,80 b CD	28,42 b DE	28,87 c DE	40,59 a A
1	28,81 b C	34,58 a BC	41,01 a ABC	52,49 a A	38,17 b BC	37,98 a BC	43,17 a AB	36,22 a BC	37,07 a BC
3	39,58 a BC	37,09 a CD	36,93 a CD	29,57 b E	45,50 a A	39,05 a BC	46,77 a A	33,28 b E	43,00 a AB

*Entre cada parâmetro avaliado nos pães os valores seguidos da mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

^aAN: amido nativo; M1, M2 e M3: Amido oxidado 0,5%, 1,0% e 1,5% de H₂O₂.g amido⁻¹, respectivamente.

Lazaridou et al. (2007), adicionaram 1% e 2% de β -glicana em pães elaborados com farinha de arroz, verificaram que os dois pães obtiveram volumes superiores ao pão controle ($2,19 \text{ ml.g}^{-1}$), porém 1% de β -glicana ($2,68 \text{ ml.g}^{-1}$) foi significativamente superior a 2% ($2,39 \text{ ml.g}^{-1}$) de adição.

Skendi et al. (2009) adicionou β -glicana de cevada (0%, 0,2%, 0,6%, 1,0% e 1,4%) em farinhas de trigo de diferentes cultivares, para produção de pães e verificou que concentrações de até 0,6% de β -glicana aumentaram o volume específico dos pães, independente da farinha. Estes autores atribuíram a redução do volume dos pães, quando adicionadas concentrações maiores da fibra, aos efeitos combinados de diluição e rompimento da rede formada pelo glúten. Isto também pode ser devido à forte propriedade de absorção de água da fibra, que poderia suprimir o vapor gerado, resultando em menor volume e maior firmeza do miolo.

McCarthy et al. (2005), estudaram o comportamento de pães sem glúten, elaborados com farinha de arroz, amido de batata e proteínas do leite, adicionados de diferentes concentrações de HPMC (Hidroxipropilmetilcelulose) e verificaram que com o aumento da concentração desta goma houve um ligeiro decréscimo no volume específico dos pães.

Haque e Morris (1994) produziram pães de arroz adicionados de HPMC e/ou goma de psyllium e obtiveram volumes de até $4,5 \text{ ml.g}^{-1}$, quando combinaram as duas gomas, porém quando usaram de forma isolada obtiveram valores de $1,5\text{-}2,2 \text{ ml.g}^{-1}$ e, similarmente ao que ocorreu neste estudo, o aumento da concentração da goma resultou em volumes menores.

Os efeitos de vários hidrocolóides, como HPMC, CMC, goma locusta, goma guar, carragena, xantana, β -glicana e goma psyllium, já foram avaliados sobre o volume de pães em formulações livres de glúten (HAQUE; MORRIS, 1994; GALLAGHER; GORMLEY; ARENDT, 2004; McCATHY et al., 2005; LAZARIDOU et al., 2007), assim como em pães elaborados com farinha de trigo (BELL, 1990; DELCOUR; VANHAMEL; HOSENEY, 1991; BILIADERIS; IZYDORCZYK; RATTAN, 1995; ROSELL; ROJAS; BENEDITO DE BARBER, 2001; CAVALLERO et al., 2002; SHARADANANT; KHAN, 2003; GUARDA et al., 2004; BARCENAS; ROSELL, 2005; SKENDI et al., 2009). A possível explicação para os resultados obtidos, é que esses hidrocolóides aumentam a capacidade de desenvolvimento da massa e a retenção

de CO₂ (ROSELL et al., 2001), mas também aumentam a viscosidade da massa (DELCOUR et al., 1991; LAZARIDOU et al., 2007).

A perda de peso consiste em uma medida que determina a capacidade que a massa tem de reter a umidade durante o forneamento. A perda de peso dos pães pode ser observada na tab. 14. De forma geral a adição de β -glicana nos pães aumentou a retenção de água.

O perfil de textura do miolo dos pães está apresentado na tab. 15. Pode-se observar que com a presença de 3% de β -glicana nos tratamentos sem adição de amido e naqueles elaborados com amido nativo a dureza foi incrementada. A adição de 10% de amido de aveia nativo à farinha de arroz torna-se interessante, pois possibilita a adição de 1% de β -glicana sem alterar o perfil de textura.

Nos pães elaborados com 20% de amido oxidado com 1,5% de H₂O₂ a adição de β -glicana promoveu a redução da dureza. Este resultado é interessante, pois o tratamento 25 (1% de β -glicana) está entre os que resultaram em maiores volumes específicos (tab. 14), sendo que a dureza foi maior apenas que os tratamentos controle e o 3. No tratamento 26 (3% de β -glicana) a dureza não foi alterada significativamente. Estes tratamentos também resultaram nos pães mais escuros (tab.16). Do ponto de vista nutricional estes resultados são atrativos, pois melhorou-se o produto nutricionalmente (devido à adição de β -glicana) sem afetar a qualidade tecnológica.

Lazaridou et al., (2007) adicionaram 1% de β -glicana em pães de arroz, verificaram que não houve alteração da firmeza do miolo dos pães, porém quando adicionaram 2% de β -glicana a firmeza dos pães dobrou.

Alguns autores reportaram um incremento na firmeza do miolo de pães, quando adicionaram fibra de trigo em farinhas livres de glúten (SABANIS; LEBESI; TZIA, 2009; GALLAGHER; GORMLEY; ARENDT, 2003; HE; HOSENEY, 1990) e em farinha de trigo (GOMÉZ et al., 2004)

Tabela 15. Perfil de textura do miolo dos pães elaborados com farinha de arroz e diferentes concentrações de β -glicana e amido de aveia nativo e oxidado

β -glicana (%)	^a AMIDO								
	0	AN 10%	AN 20%	M1 10%	M1 20%	M2 10%	M2 20%	M3 10%	M3 20%
	DUREZA (g)								
0	312,23 c E	406,26b DE	661,13 b CDE	1480,08 b B	1934,96 a A	839,93 c CD	1447,72 b B	963,81 a C	989,93 a C
1	669,96 b C	558,73 b C	738,92 b BC	2698,77 a A	1781,01 a A	1589,78 b AB	2361,34 a A	863,75 a BC	560,52 b C
3	1770,82 a AB	1794,93 a AB	1568,94 a B	1741,89 b B	1629,01 a B	2094,34 a A	1626,32 b B	869,22 a C	701,66 ab C
	FLEXIBILIDADE (mm)								
0	1,91 ab B	3,52 a A	1,45 a B	1,03 a B	1,00 a B	2,19 a B	1,25 a AB	1,93 a B	1,28 a B
1	3,14 a A	2,53 b AB	1,61 a BC	0,96 a C	1,09 a C	1,24 b C	0,96 a C	1,22 a C	2,80 a A
3	1,01 b BC	0,98 c C	1,43 a ABC	1,06 a BC	0,99 a BC	0,98 b BC	1,03 a BC	1,88 a AB	1,97 a A
	COESIVIDADE								
0	0,78 a A	0,82 a A	0,80 a A	0,67 b C	0,63 b C	0,82 a A	0,78 a A	0,76 a AB	0,69 a BC
1	0,82 a AB	0,84 a A	0,78 a AB	0,50 c D	0,83 a A	0,68 b BC	0,63 b CD	0,76 a ABC	0,81 a AB
3	0,62 b B	0,66 b B	0,73 b AB	0,74 a AB	0,67 b B	0,66 b B	0,64 b B	0,81 a A	0,71 a AB
	MASTIGABILIDADE (g)								
0	1511,86 a A	1166,37 a A	792,37 a A	1016,16 b A	1215,43 b A	1453,72 a A	1376,36 a A	1360,11 a A	883,86 a A
1	1698,15 a A	1174,69 a BCD	906,27 a CD	1286,17 a ABC	1606,17 a AB	1365,35 a ABC	1402,33 a AB	779,20 a D	1227,51 a BCD
3	1090,57 b A	1153,20 a A	1623,29 a A	1349,10 a A	1068,52 b A	1347,81 a A	1062,73 a A	1315,73 a A	1077,58 a A
	GOMOSIDADE (g)								
0	240,30 c E	331,72 c D	529,82 b CD	987,13 b AB	1230,64 ab A	684,86 c C	1120,95 b A	725,70 a BC	683,39 a C
1	547,98 b C	470,03 b C	576,97 b C	1344,08 a AB	1480,02 a A	1090,63 b B	1459,79 a A	657,96 a C	448,50 b C
3	1083,39 a BC	1180,21 a ABC	1148,45 a BC	1281,90 a AB	1081,30 b BC	1374,53 a A	1028,33 b C	703,92 a D	495,00 ab E

* Para cada atributo avaliado os valores seguidos da mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

^aAN: amido nativo; M1, M2 e M3: Amido oxidado 0,5%, 1,0% e 1,5% de H_2O_2 .g amido⁻¹, respectivamente.

Ao contrário dos resultados obtidos neste estudo, que utilizou a β -glicana e o amido na forma isolada Sabanis; Lebesi; Tzia, (2009) incluíram fibras de trigo, milho, aveia e cevada em pães elaborados com amido de milho e farinha de arroz, verificaram que a adição das fibras, com exceção da fibra de trigo, resultou em pães com os miolos mais macios. Observaram que a adição de fibra de aveia tornou os miolos dos pães, livres de glúten, mais macios, quando comparado ao pão adicionado de fibra de milho ou de cevada. Os autores atribuíram estes resultados a maior capacidade de absorção de água que as fibras de aveia possuem, em relação às demais. Esses resultados, vão ao encontro dos obtidos por Gallagher et al. (2002) que adicionaram 10% de inulin em pães livres de glúten.

A cor é uma característica importante em produtos de panificação, pois junto com o aroma e com a textura contribuem na preferência do consumidor. A cor depende das características físicoquímicas da massa e das condições operacionais aplicadas durante o processamento. (ESTELLER; LANNES, 2008; SABANIS; LEBESI; TZIA, 2009).

A cor dos pães foi influenciada pela β -glicana e pelo amido. Em geral, conforme foi adicionada uma maior quantidade de β -glicana mais claros ficaram os miolos, porém conforme se aumentou o nível de oxidação dos amidos, mais escuros ficaram os miolos, em todos os tratamentos (tab. 16).

O escurecimento do miolo, através da adição de fibras é desejável em pães livres de glúten, pois usualmente esses são mais claros do que os pães de trigo. (GALLAGHER; POLENGHI; GORMLEY, 2002).

Lazaridou et al., (2007) avaliaram a cor do miolo de pães elaborados com farinha de arroz adicionados de 1% e 2% de β -glicana e não verificaram diferença significativa entre as amostras, quando comparadas ao controle.

Tabela 16. Cor do miolo dos pães elaborados com farinha de arroz e diferentes concentrações de β -glicana e amido de aveia nativo e oxidado

β -glicana (%)	^a Amido								
	0	AN 10%	AN 20%	M1 10%	M1 20%	M2 10%	M2 20%	M3 10%	M3 20%
	L^b								
0	65.93 c AB	64.67 b AB	64.42 ab AB	64.99 a AB	68.00 b A	63.53 b AB	63.90 b AB	62.90 b B	57.06 b C
1	71.71 a AB	63.83 b D	59.85 b E	65.99 a CD	73.60 a A	63.92 b D	67.53 a C	68.90 a BC	60.30 b E
3	69.11 b AB	69.19 a AB	69.01 a AB	67.51 a AB	68.19 b AB	71.67 a A	68.78 a AB	70.47 a AB	65.94 a B
	A^c								
0	-5.25 a C	-4.92 a BC	-5.10 b BC	-4.92 a AB	-5.12 a BC	-5.01 a BC	-5.12 a BC	-5.01 a BC	-4.49 a A
1	-5.45 a D	-5.16 ab C	-4.57 a A	-4.83 a B	-5.27 a CD	-5.03 a BC	-5.23 a CD	-5.01 a BC	-4.50 a A
3	-5.24 a D	-5.33b D	-5.21 b C	-4.83 a BC	-5.14 a A	-5.44 b BC	-5.13 a BC	-5.14 b BC	-4.95 b B
	B^d								
0	10.99 AB	10.52 AB	11.84 AB	12.32 AB	13.65 A	12.10 AB	12.04 AB	12.17 B	12.57 C
1	12.40 AB	11.19 D	12.20 E	14.56 CD	13.63 A	13.01 D	12.63 C	12.34 BC	10.88 E
3	14.61 AB	13.04 AB	14.06 AB	12.79 AB	12.83 AB	12.91 A	13.13 AB	12.38 C	10.88 B

*Para cada coordenada determinada nos pães os valores seguidos da mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

^aAN: amido nativo; M1, M2 e M3: Amido oxidado 0,5%, 1,0% e 1,5% de H₂O₂.g amido⁻¹, respectivamente.

^bL: O valor L* varia do preto ao branco.

^cA: O valor a* varia do verde ao vermelho.

^dB: O valor b* varia do azul ao amarelo.

6. CONCLUSÕES

Primeiro experimento

A extração de amido de aveia pelo método alcalino resulta em um produto com baixo teor de lipídios, cinzas e proteínas.

O tratamento do amido de aveia com H_2O_2 promove a formação de grupos carbonílicos e carboxílicos, além de reduzir o poder de inchamento e a solubilidade em temperaturas superiores a $70^\circ C$, em relação ao tratamento controle;

O amido de aveia tratado com 0,5% e 1,0% H_2O_2 forma gel em concentrações menores, quando comparado ao amido nativo e ao amido tratado com 1,5% de H_2O_2 .

O perfil de textura dos géis de amido de aveia são afetados pela oxidação. A dureza, a adesividade e a gomosidade dos géis aumentam com o nível de oxidação, enquanto que a flexibilidade e a coesividade diminuem.

A oxidação no amido de aveia com H_2O_2 promove o aumento da temperatura inicial de gelatinização e no nível mais alto de oxidação (1,5% de H_2O_2) reduz a entalpia.

Segundo experimento

A capacidade de absorção de água da farinha de arroz aumenta com a adição de β -glicana e diminui com a adição de amido de aveia nativo ou oxidado.

O poder de inchamento é aumentado nas temperaturas de 70 e $80^\circ C$ e a adição de amido de aveia oxidado a 1,5% de H_2O_2 na farinha de arroz diminui este parâmetro, enquanto a adição de β -glicana não tem efeito sobre este.

A solubilidade da mistura de farinha de arroz e amido nativo ou modificado é maior conforme aumenta-se a concentração de β -glicana.

O amido de aveia oxidado aumenta a dureza e a adesividade dos géis elaborados com farinha de arroz e, junto com a β -glicana, interfere nas propriedades de geleificação da farinha de arroz.

A textura da massa crua é diferente para cada formulação estudada, sendo que a dureza, a adesividade e a gomosidade são maiores quando são adicionados β -glicana e amido de aveia oxidado na farinha de arroz.

A adição de 1% β -glicana e 20% de amido de aveia oxidado com 1,5% de H_2O_2 resulta em pães com bons volume específico e perfil de textura.

A adição de 10% de amido nativo à farinha de arroz possibilita o acréscimo de 1% de β -glicana, sem prejudicar o volume específico e o perfil de textura, apesar de promover uma distribuição heterogênia dos alvéolos nos pães.

O miolo dos pães é mais claro na presença de β -glicana e escurecido quando adicionado amido de aveia nativo ou oxidado à farinha de arroz.

Para a produção de pães sem glúten, a farinha de arroz pode ser enriquecida com β -glicana visando melhorar a qualidade nutricional, sem afetar a qualidade tecnológica.

Este estudo demonstra que o amido de aveia pode ser utilizado em produtos de panificação. Entretanto, outros estudos com amido de aveia podem ampliar a sua aplicação.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AACC – American Association of Cereal Chemists. **Approved Methods**. 8. ed. Saint Paul, 1995.

ADA – American Dietetic Association. Position of the American Dietetic association: Health Implications of Dietary Fiber. **Journal of the American Dietetic Association**, v.108, p.1716-1731, 2008.

ADEBOWALE, K.O.; AFOLABI, T.A.; OLU-OWOLABI, B.I. Functional, physicochemical and retrogradation properties of sword bean (*Canavalia gladiata*) acetylated and oxidized starches. **Carbohydrate Polymers**, v.65, p.93-101, 2006.

ADEBOWALE, K.O.; LAWAL, O.S. Effect of annealing and heat moisture conditioning on the physicochemical characteristics of Bambarra groundnut (*Voandzeia subterranea*) starch. **Nahrung-Food**, v.46, p.311-316, 2002.

ADEBOWALE, K.O.; OLU-OWOLABI, B.I.; OLAWUMI, E.K.; LAWAL, O.S. Functional properties of native, physically and chemically modified breadfruit (*Artocarpus artillis*) starch. **Industrial Crops and Products**, v.21, p.343-351, 2005.

AMUSSEN, H.W.; SHARP, R.N.; SHARP, C.K. The feasibility of making soups from rice flour and hydrolyzed rice. **Journal of the American Dietetic Association**, v.90, n.7, p.991-993, 1990.

AOAC – **OFFICIAL METHODS OF ANALYSIS OF THE ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS**. 16th ed., Washington, DC, 1997.

APLEVICZ, K.S.; DEMIATE, I.M. Caracterização de amidos de mandioca nativos e modificados e utilização em produtos panificados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas v.27, n.3, p.478-484, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE PANIFICAÇÃO (ABIP). Perfil do setor de panificação no Brasil (2009). Disponível em: <http://www.abip.org.br/perfil_internas.aspx?cod=35>. Acesso em: 05 jan. 2011.

ASSOCIAÇÃO DOS CELÍACOS DO BRASIL (ACELBRA). Disponível em: <http://www.ancelbra.org.br/2004/estatisticas.php>. Acesso em: 05 jan 2011.

BANCHATHANAKIJ, R.; SUPHANTHARIKA, M. Effect of different β -glucans on the gelatinization and retrogradation of rice starch. **Food Chemistry**, v.114, p.5-14, 2009.

BARCENAS, M.E.; ROSELL, C.M. Effect of HPMC addition on the microstructure, quality and aging of wheat bread. **Food Hydrocolloids**, v.19, p.1037-1043, 2005.

BAZZANO, L.A.; HE, J.; OGDEN, L.G.; LORIA, C.M.; WHELTON, P.K. Dietary fibre intake and reduced risk of coronary heart disease in US men and women: the National Health and Nutrition Examination Survey I epidemiologic follow-up study. **Archives of Internal Medicine**, v.163, p.1897-1904, 2003.

BELL, D. A. Methylcellulose as a structure enhancer in bread baking. **Cereal Food World**, v.35, p.1001-1006, 1990.

BERSKI, W.; PTASZEK, A.; PTASZEK, P.; ZIOBRO, R. KOWALSKI, G.; GRZESIK, M.; ACHREMOWICZ, B. Pasting and rheological properties of oat starch and its derivatives. **Carbohydrate Polymers**, xx, 2010.

BILIADERIS, C.G.; IZYDORCZYK, M.S.; RATTAN, O. Effect of arabinoxylans on bread making quality of wheat flours. **Food Chemistry**, v.53, n.2, p.165-171, 1995.

BOLLAÍN, C.; ANGIOLONI, A.; COLLAR, C. Relationship between dough and bread viscorlástica properties in enzyme supplemented wheat samples. **Journal of Food Engineering**, v.77, p.665-671, 2006.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução RDC n°263**, de 22 de setembro de 2005. Aprova o "Regulamento técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos". Disponível em: <<http://www.anvisa.gov.br/e-legis>>. Acesso em: 05 jan. 2011.

BRENNAN, C.S.; CLEARY, L.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.

CAVALLERO, A.; EMPILLI, S.; BRIGHENTI, F.; STANCA, A.M. High (1 → 3, 1 → 4)-beta-glucan barley fractions in bread making and their effects on human glycemic response. **Journal of Cereal Science**, v.36, n.1, p.59-66, 2002.

CEREDA, M.P. Amidos modificados. **Boletim Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.30, n.1, p.31-36, 1996.

CEREDA, M.P.; VILPOUX, O. F. (Coord.) **Tecnologia, usos e potencialidades de tuberosas amiláceas Latino Americanas**. São Paulo: Fundação Cargill, 711p. (Série Culturas de Tuberosas Amiláceas Latino Americanas), v.3, 2003.

CHARALAMPOPOULOS, D.; WANG, R.; PANDIELLA, S.S.; WEBB, C. Application of cereals and cereal components in functional food: a review. **International Journal of Food Microbiology**, London, v.79, n.1-2, p.131-141, 2002.

CHAUD, S. G.; SGARBIERI, V. C. Propriedades funcionais (tecnológicas) da parede celular de leveduras da fermentação alcoólica e das frações glicana, manana e glicoproteína. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.26 n.2, p.369-379, 2006.

CHEFTEL, J.C. Aminoacids, peptides and proteins. In: FENEMA, O.R. (Ed.) **Food Chemistry**. 2ed. New Yoork: Marcel Dekker, 1985, p.246-369.

CHOI, S.G.; KERR, W.L. Water mobility and textural properties of native and hydroxypropylated wheat starch gels. **Carbohydrate Polymers**, v.51, n.1, p.1-8, 2003.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DO ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira (2010). Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/4graos_07.01.10.pdf>. Acesso em: 04 jan 2011.

DE FRANCISCO, A.; SÁ, R.M. β -glicanas: localização, propriedades e utilização. In: LAJOLO, F.M.; SAURA-CALIXTO, F.; DE PENNA, E.W.; DE MENEZES, E.W. (Ed.) **Fibra Dietética em Iberoamérica: Tecnología y salud**. São Paulo: Varela, 2001, p. 91-101.

DELCOUR, J. A.; VANHAMEL, S.; HOSENEY, R. C. Physicochemical and functional properties of rye nonstarch polysaccharides. II. Impact of a fraction containing water-soluble pentosans and proteins on gluten-starch loaf volumes. **Cereal Chemistry**, v.68, p.72-76, 1991.

DEPARTAMENTO DE HIGIENE AMBIENTAL E ALIMENTAR DE HONG KONG (2006). Disponível em: <http://www.cfs.gov.hk/english/programme/programme_rafs/programme_rafs_fa_02_02.html />. Acesso em: 11 jan. 2011.

DIAS, A.R.G. **Efeito de oxidantes, de ácidos orgânicos e da fração solúvel em água na propriedade de expansão do amido de mandioca fermentado**. 2001. 119p. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos), Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP.

DOUGOWSKI, G.; DRZIKOVA, B.; SENGE, B.; BLOCHWITZ, R.; GEBHARDT, E.; HABEL, A. Rheological behaviour of β -glucans preparations from oat products. **Food Chemistry**, v.93, p.279-291, 2005.

EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO. Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/arroz/arvore/CONT000fok5vmke02wyi v80bhgp5prthhjx4.html>> Acesso em: 04 jan. 2011

FAIVRE, J.; BONITHON-KOPP, C. Diets, fibres and colon cancer. **Advances in Experimental Medicine and Biology**, v.472, p.199-206, 1999.

FASANO, A., BERTI, I., GERARDUZZI, T., NOT, T., COLLETTI, R.B., DRAGO, S., et al. Prevalence of celiac disease in at-risk and not-at-risk groups in the United States: a large multicenter study. **Archives of Internal Medicine**, v.163, p.286-292, 2003.

FASANO, A.; CATASSI, C. Current approaches to diagnosis and treatment of celiac disease: an evolving spectrum. **Gastroenterology**, v.120, p.636-651, 2001.

FELDHEIM, W.; WISKER, E. Studies on the improvement of dietary fibre intake. **Deutsche Lebensm-Rundsch**, v.96, p.327-330, 2000.

FLORES, H.E.M.; BASTOS, F.M.; CHANG, Y.K. Efeito benéfico na saúde humana das fibras dietéticas presentes nos alimentos. In: **Simpósio de Alimentos Funcionais para o Novo Milênio**, Campinas, SP, 24-26 de agosto de 2000.

FOOD AND DRUG ADMINISTRATION (FDA). Final rule for food labeling: Health claims; Oats and coronary heart disease. **Federal Regulations**, v.62, p.3584-3681, 1997.

FORSELL, P.; HAMUNEN, A.; AUTIO, K.; SUORTI, T.; POUTANEN, K. Hypochlorite oxidation of barley and potato starch. **Starch/Stärke**, v.47, p.371-377, 1995.

FORTUNA, T.; JUSZCZAK, L.; PIETRZYK, S.; WRÓBEL, M. Physico-chemical properties of oxidised starches of different origin. **Polish Journal of Food and Nutrition Sciences**, v.11/52, n.2, p.21-27, 2002

FUJITA, A.; FIGUEROA, M.O.R. Composição centesimal e teor de β -glucanas em cereais e derivados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.23, n.2, 2003.

GALDEANO, M.C. **Filmes e laminados biodegradáveis de amido de aveia com diferentes plastificantes, produzidos por casting e extrusão**. 2007. 168f. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Estadual de Londrina, Londrina.

GALDEANO, M.C.; GROSSMANN, M.V.E.; MALI S.; BELLO-PEREZ, L.A. Propriedades físico-químicas do amido de aveia da variedade brasileira IAC 7. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.29, n.4, 2009.

GALLAGHER, E.; GORMLEY, T.R.; ARENDT, E.K. Recent advances in the formulation of gluten-free cereal-based products. **Trends in Food Science and Technology**, v.15, p.143-152, 2004.

GALLAGHER, E.; POLENGHI, O.; GORMLEY, T.R. Improving the quality of gluten free breads. **Farm and Food**, v.12, p.8-13, 2002.

GARCÍA, F. A. (2007). Disponível em:
<<http://www.arroz.agr.br/site/arrozemfoco/070129.php>>. Acesso em: 04 jan 2011.

GLORIA, M.M.; REGINATO D'ARCE, M.A.B. Concentrado e isolado protéico de torta de castanha do Pará: obtenção e caracterização química e funcional. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.20, n.2, p.240-245, 2000.

GOESAERT, H.; BRIJS, K.; VERAVERBEKE, W. S.; COURTIN, C.M.; GEBREUS, K.; DELCOUR, J.A. Wheat flour constituents: how they impact bread quality, and how to impact their functionality. **Trends in Food Science and Technology**, v.16, p.12-30, 2005.

GOMEZ, M.; RONDA, F.; BLANCO, C.A.; CABALLERO, P.A.; APESTEGUIA, A. Effects of dietary fibre on dough rheology and bread quality. **European Food Research Technology**, v.216, p.51-56, 2003.

GRIZARD, D.; DALLE, M.; BARTHOMEUF, C. Changes in insulin and corticosterone levels may partly mediate the hypolipidemic effect of guar gum and low-molecular weight pectin in rats. **Nutritional Researches**, v.21, n.8, p.1185-1190, 2001.

GUARDA, A.; ROSELL, C.M.; BENEDITO, C.; GALOTTO, M.J. Different hydrocolloids as bread improvers and antistaling agents. **Food Hydrocolloids**, v.18, p.241-247, 2004.

GULARTE, M.A. **Arroz: propriedades de consumo e preferências do consumidor**. www.congressorizicola.org.br, 2004.

GUTKOSKI, L.C.; IANISKI, F.; DAMO, T.V.; PEDÓ, I. Biscoito de aveia tipo cookie enriquecidos com concentrado de β -glicanas. **Brasilian Journal of Food Technology**, v.10, n.2, p.104-110, 2007.

GUTKOSKI, L.C.; PEDÓ, I. **Aveia- composição química, valor nutricional e processamento**, São Paulo: Varela, 1^o ed., 2000, 96p.

GUTKOSKI, L.C.; 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.

HAMER, R.J. Coeliac disease: background and biochemical aspects. **Biotechnology Advances**, v.23, n.6, p.401-408, 2005.

HAQUE, A.; MORRIS, E.R. Combined use of ispaghula and HPMC to replace or augment gluten in breadmaking. **Food Research International**, v.27, p.379-393, 1994.

- HILL, I.D.; DIRKS, M.H.; LIPTAK, G.S.; COLLETTI, R.B.; FASANO, A.; GUANDALINI, S. Guideline for the diagnosis and treatment of coeliac disease in children: recommendations of the North American Society for pediatric gastroenterology, hepatology and nutrition. **Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition**, v.40, n.1, p.1-19, 2005.
- HOOVER, R.; SENANAYAKE, S.P.J.N. Composition and physicochemical properties of oat starches. **Food Research International**, v.262, p.13-24, 1996.
- HOOVER, R.; SMITH, C.; ZHOU, Y.; RATNAYAKE, R.M.W.S. Physicochemical properties of Canadian oat starches. **Carbohydrate Polymers**, v.52, n.1, p.253-261, 2003.
- HORMDOK, R.; NOOMHORM, A. Hydrothermal treatments of rice starch for improvement of rice noodle quality. **LWT – Food Science and Technology**, v.40, p.1723-1731, 2007.
- KADAN, R.S.; BRYANT, R.J.; BOYKIN, D.L. Rice fry texture as effect by gum application and mechanical performance. **Journal of Food Science**, v.66, n.8, p.1084-1088, 2001.
- KALVIAINEN, N.; ROININEN, K.; TUORILA, H. Sensory characterization of texture and flavor of high viscosity gels made with different thickeners. **Journal of Texture Studies**, New York, v.31, n.4, p.407-420, 2000.
- KARPPINEN, S.; LIUKKONEN, K.; AURA, A.M.; FORSELL, P.; POUTANEN, K. In vitro fermentation of polysaccharides of rye, wheat and oat brans and inulin by human fecal bacteria. **Journal of Science of Food Agriculture**, v.80, p.1469-1476, 2000.
- KNUCKLES, B.E.; HUDSON, C.A.; CHIU, M.M.; Molecular characterization of barley (1→3)(1→4)- β-D-glucans by size exclusion chromatography with multiple angle laser light scattering and other detectors. **Cereal Chemistry**, v.74, p.599-604, 1997.
- KONTOGIORGOS, V.; TOSH, S.M.; WOOD, P.J. Phase behavior of high molecular weight oat β-glucan/whey protein isolate binary mixtures. **Food Hydrocolloids**, v.23, p.949-956, 2009.
- KUAKPETOON, D; WANG, Y.J. Structural characteristics and physicochemical properties of oxidized corn starches varying in amylose content **Carbohydrate Research**, v.341, p.1896-1915, 2006.
- LAURIN, P.; WOLVING, M.; FALTH-MAGNUSSON, K. Even small amounts of gluten cause relapse in children with celiac disease. **Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition**, v.34, p.26-30, 2002.

LAWAL, O.S. Composition, physicochemical properties and retrogradation characteristics of native, oxidised, acetylated and acid-thinned new cocoyam (*Xanthosoma sagittifolium*) starch. **Food Chemistry**, v.87, p.205-218, 2004.

LAWAL, O.S.; ADEBOWALE, K.O. Physicochemical characteristics and thermal properties of chemically modified jack bean (*Canavalia ensiformis*) starch. **Carbohydrate Polymers**, v.60, p. 331-341, 2005.

LAZARIDOU, A.; DUTA, D.; PARAGEORGIU, M.; BELC, N.; BILIADERIS, C.G. Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations. **Journal of Food Engineering**, v.79, p.1033-1047, 2007.

LEACH, H.W.; McCOWEN, L.D.; SCHOCH, T.J. Structure of the starch granule. I. Swelling and solubility patterns of various starches. **Cereal Chemistry**, v.36, n.6, p.534-544, 1959.

LEE, Y.E.; OSMAN, E.M. Correlation of morphological changes of rice starch granules with rheological properties during heating in excess water. **Journal of Korean Agricultural Chemical Society**. v.34, v.4, p.379-385, 1991.

LEONEL, M.; JACKEY, S.; CEREDA, M.P. Processamento industrial de fécula de mandioca e batata doce - um estudo de caso. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.18, n.3, p.343-345, 1998.

LIM, W.J.; LIANG, Y.T.; SEIB, P.A.; RAO, C.S. Isolation of oat starch from oat flour. **Cereal Chemistry**, v.69, n.3, p.233-236, 1992.

LIMBERGER, V.M.; SILVA, L.P.; EMANUELLI, T.; COMARELA, C.G.; PATIAS, L.D. Modificação química e física do amido de quirera de arroz para aproveitamento na indústria de alimentos. **Química Nova**, v.31, p.84-88, 2008.

LIU, Q. Starch Modifications and Applications. In: CUI, S. W (Ed.). **Food Carbohydrates: Chemistry, Physical Properties, and Applications**, CRC Press, 2005. cap. 8, p. 357-406.

MALI, S.; GROSSMANN, M.V.E.; GARCIA, M.A.; MARTINO, M.N.; ZARITZKY, N.E. Effects of controlled stored on thermal, mechanical and barrier properties of plasticized films from different starch sources. **Journal of Food Engineering**, v.75, p.453-460, 2006.

MÄLKKI, Y.; VIRTANEN, E. Gastrointestinal effects of oat bran and oat gum a review. **LWT – Food Science and Technology**, v.34, p.337-347, 2001.

MARCO, C.; ROSELL, C.M. Functional and rheological properties of protein enriched gluten free composite flours. **Journal of Food Engineering**, v.88, n.1, p.94-103, 2008.

MARTINEZ, C.Y.; CUEVAS, F. Evaluacion de la calidad culinaria e molinera del arroz. **Guia del estudio**. Cali: CIAT, 1989. 75p.

McCARTHY, D.F.; GALLAGHER, E.; GORMLEY, T.R.; SCHOBBER, T.J.; ARENDT, E.K. Application of response surface methodology in the development of gluten-free bread. **Cereal Chemistry**, v.82, p.609-615, 2005.

MIRMOGHATAIE, L.; KADIVAR, M., SHAHEDI, M. Effects of cross-linking and acetylation on oat starch properties. **Food Chemistry**, v.116, n.3, p.709-713, 2009.

MANDALA I.G.; PALOGOUE E.D.; KOSTAROPOULOS A.E. Influence of preparation and storage conditions on texture of xanthan-starch mixtures. **Journal of Food Engineering**, v.53, p.27-38, 2002.

MUA, J.P.; JACKSON, D.S. Gelatinization and Solubility Properties of Commercial Oat Starch. **Starch**, v.47, n.1, p.2-7, 1995.

NEVES, F.M., PEREIRA, J.M., ZAVAREZE, E., DIAS, A.R.G., ELIAS, M.C. Expansion of rice flour treated with lactic acid and sodium bisulphite. **LWT - Food Science and Technology**, v.43, p.326-330, 2010.

ORMENESE, R.C.S.C.; CHANG, Y.K. Massas alimentícias de arroz: uma revisão. **B. CEPPA**, Curitiba, v.20, n.2, p.175-190, 2002.

PACHECO, M.T.B.; SGARBIERE, V.C. Fibra e doenças gastrointestinais. In: LAJOLO, F.M.; SAURA-CALIXTO, F.; DE PENNA, E.W.; DE MENEZES, E.W. (Ed.) **Fibra Dietética em Iberoamérica: Tecnologia y salud**. São Paulo: Varela, 2001, p. 385-397.

PAROVUORI, P.; HAMUNEN, A.; FORSSELL, P.; AUTIO, K.; POUTANEN, K. Oxidation of potato starch by hydrogen peroxide. **Starch/ Stärke**, v.43, p.19-23, 1995.

PEDÓ, I.; SGARBIERI, V.C. Caracterização química de cultivares de aveia (*Avena sativa* L). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.17, n.2, p.78-83, 1997.

PETERSON, M.P. Composition and Nutritional Characteristics of Oat Grain and Product. In: MARSHALL, H.G.; SOLLELS, M.S. **Oat science and technology**. Madison: American Society of Agronomy, 1992. p.266-287.

PIZZINATTO, A.; CAMPAGNOLLI, D.M.F. Avaliação tecnológica de produtos derivados da farinha de trigo (pão, macarrão, biscoitos). **Boletim ITAL**. 1993.

RANHOTRA, G.S.; GELROTH, J.A.; ASTROTH, K.; POSNER, E.S. Distribution of total and soluble fiber in various millstreams of wheat. **Journal of Food Science**, v.55, n.5, p.1349-1351, 1990.

ROSELL, C.M.; BRITES, C.M.; PÉREZ, E.; GULARTE, M. In. LEÓN, A.E.; ROSELL, C.M. **De tales harinas, tales panes**: granos, harinas y productos de panificación em iberoamérica. Córdoba: Hugo Baéz Editor, 2007, p.123-160.

ROSELL, C.M.; MARCO, C. Rice. In: Gluten-Free Cereal Products and Beverages (2008). Disponível em:<<http://www.sciencedirect.com/book/9780123737397>>. Acesso em: 17 jul. 2009.

ROSELL, C.M.; ROJAS, J.A.; BENEDITO DE BARBER, C. Influence of hydrocolloids on dough rheology and bread quality. **Food Hydrocolloids**, v.15, p.75-81, 2001.

ROY, S.; VEJA-LOPEZ, S.; FERNANDEZ, M.L. Gender and hormonal status affect the hypolipidemic mechanisms of dietary soluble fiber in guinea pigs. **Journal of Nutrition**, v.130, n.3, p.600-607, 2000.

SÁ, R.M.; DE FRANCISCO, A.; OGLIARI, P.J.; BERTOLDI, F.C. Variação no conteúdo de beta-glucanas em cultivares brasileiros de aveia. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.20, n.1, p.99-102, 2000.

SABANIS, D.; LEBESI, D.; TZIA, C. Effect of dietary fibre enrichment on selected properties of gluten-free breads. **LWT – Food Science and Technology**, v.42, n.8, p.1380-1389, 2009.

SANDHU, K.S.; KAUR, M.; SINGH, N.; LIM, S. T. A comparison of native and oxidized normal and waxy corn starches: Physicochemical, thermal, morphological and pasting properties. **LWT – Food Science and Technology**, v.41, p.1000-1010, 2008.

SANGSEETHONG, K.; TERMVEJSAYANON, N.; SRIROTH, K. Characterization of physicochemical properties of hypochlorite- and peroxide-oxidized cassava starches. **Carbohydrate Polymers**, v.82, p.446-453, 2010.

SATHE, S.K.; SALUNKHE, D.K. Functional properties of the great northern bean (*Phaseolus vulgaris*, L.). Proteins: emulsion, foaming, viscosity and gelation properties. **Journal of Food Science**, Chicago, v.46, n.1, p.71-74, 1981.

SEABRA, L.M.J.; ZAPATA, J.F.F.; NOGUEIRA, C.M.; DANTAS, M.A.; ALMEIDA, R.B. Fécula de mandioca e farinha de aveia como substitutos de gordura na formulação de hambúrguer de carne ovina. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.22, n.3, p.245-248, 2002.

SERAPHIN, P.; MOBARHAN, S. Mortality in patients with celiac disease. **Nutritional Reviews**, v.60, p.116-118, 2002.

SHARADANANT, R.; KHAN, K. Effect of hydrophilic gums on the quality of frozen dough: II. Bread characteristics. **Cereal Chemistry**, v.80, p.773-780, 2003.

- SHIRAI, M.A.; HAAS, A.; FERREIRA, G.F.; MATSUGUMA, L.S.; FRANCO, C.M.L.; DEMIATE, I.M. Características físico-químicas e utilização em alimentos de amidos modificados por tratamento oxidativo. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.27, n.2, p.239-247, 2007.
- SKENDI, A.; BILIADERIS, C.G.; PAPAGEORGIOU, M.; IZYDORCZYK, M.S. Effects of two barley β -glucan isolates on wheat flour dough and bread properties. **Food Chemistry**, v.119, n.3, p.1159-1167, 2009.
- SKENDI, A.; PAPAGEORGIOU, M.; BILIADERIS, C.G. Effect of barley β -glucan molecular size and level on wheat dough rheological properties. **Journal of Food Engineering**, v.91, n.4, p.594-601, 2009b.
- SKERRITT, J.H.; DEVERY, J.M.; HILL, A.S. Gluten intolerance: chemistry, celiac-toxicity, and detection of prolamins in foods. **Cereal Foods World**, v.35, n.7, p.638-644, 1990.
- SMITH R.J. Characterization and analysis of starches. In: Whistler R.L. and Pachall U.F., **Starch: chemistry and technology**. New York, p.620-625, 1967.
- STORCK, C.R.; PEREIRA, J.M.; PEREIRA, G.W.; RODRIGUES, A.O.; GULARTE, M.A. DIAS, A.R.G. Características tecnológicas de pães elaborados com farinha de arroz e transglutaminase. **Brazilian Journal of Food Technology**, II SSA, 2009.
- SUDHAKAR, V.; SINGHAL, R.S.; KULKARNI, P.R. Starch- Galactomannan interactions: functionality and rheological aspects. **Food Chemistry**, v.55, n.3, p.259-264, 1996.
- TAN, I.; WEE, C.C.; SOPADE, P.A.; HALLEY, P.J. Investigation of starch gelatinization phenomena in water-glycerol systems: application of modulated temperature differential scanning calorimetry. **Carbohydrate Polymers**, v.58, p.191-204, 2004.
- TAPPY, L.; GUGOLZ, E.; WURSCH, P. Effects of breakfast cereals containing various amounts of beta glucans fibres on plasma glucose and insulin responses in NIDDM subjects. **Diabetes Care**, v.19, p.831-834, 1996.
- TAVARES, A.C.K; ZANATTA, E.; ZAVAREZE, E.; HELBIG, E.; DIAS, A.R.G. Acid and oxidative modification of rice flour with varying levels of amylose to baking expansion. **LWT - Food Science and Technology**, v.43, n.8, p.1213-1219, 2010

TEDRUS, G.A.S.; ORMENESE, R.C.S.C.; SPERANZA, S.M.; CHANG, Y.K.; BUSTOS, F.M. Estudo da adição de vital glúten à farinha de arroz, farinha de aveia e amido de trigo na qualidade de pães. **Ciência e Tecnologia dos Alimentos**, v.21 n.1, p.20-25, 2001.

WANG, J.; ROSELL, C.M.; BENEDITO DE BARBER, C. Effects of the addition of different fibres on wheat dough performance and bread quality. **Food Chemistry**, v.79, p.221-226, 2002.

WANG, L.; WANG, Y.J. Rice starch isolation by neutral protease and high-intensity ultrasound. **Journal of Cereal Science**, London, v.39, n.2, p.291-296, 2004.

WANG, Y.J.; WANG, L. Physicochemical properties of common and waxy corn starches oxidized by different levels of sodium hypochlorite. **Carbohydrate Polymers**, v.52, p.207-217, 2003.

WEBER, F.H.; GUTKOSKI, L.C.; ELIAS, M.C. Caracterização química de cariopses de aveia (*Avena sativa* L.) da cultivar UPF 18. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.22, n.1, p.39-44, 2002.

WING, R.E. Oxidation of starch by thermochemical processing. **Starch**, v.46, p.414-418, 1994.

WOOD, P. J. Cereal β -glucans in diet and health. **Journal of Cereal Science**, v.46, p.230-238, 2007.

WOOD, P. J. Relationships between solution properties of cereal β -glucans and physiological effects – A review. **Trends in Food Science and Technology**, v.15, p.313–320, 2004.

WOOD, P.J. Aspects of the chemistry and nutritional effects on non-starch polysaccharides of cereal. In. *Developments in carbohydrates chemistry*, ALEXANDER, R.J.; ZOBEL, H.F., St. Paul, MN: AACC. 1992, p.293-314.

WOOD, P.J.; WEIZ, J.; BLACKWELL, B.A. Molecular characterization of cereal β -D-glucans. Structural analysis of oat β -D-glucan and rapid structural evaluation of β -D-glucans from different sources by high-performance liquid chromatography of oligosaccharides released by lichenase. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v.68, n.1, p.31-39, 1991.

ZAVAREZE, E.R.; EL HALAL, S.L.M.; PEREIRA, J.M.; RADÜNZ, A.L.; ELIAS, M.C.; DIAS, A.R.G. Caracterização química e rendimento de extração de amido de arroz com diferentes teores de amilose. **Brazilian Journal of Food Technology**, II SSA, 2009.

ZAVAREZE, E.R; STORCK, C.R.; CASTRO, L.A.S.; SCHIRMER, M. A.; DIAS, A.R.G. Effect of heat-moisture treatment on rice starch of varying amylase content. **Food Chemistry**, v.121, p.358-365, 2010.

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