

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia
Agroindustrial



Dissertação

**EFEITO DO TRATAMENTO OXIDATIVO SOBRE AS PROPRIEDADES DA BETA-
GLICANA E APLICAÇÃO EM PÃES DE QUEIJO**

Fernanda Aline de Moura

Pelotas, 2010

Fernanda Aline de Moura

EFEITO DO TRATAMENTO OXIDATIVO SOBRE AS PROPRIEDADES DA BETA-GLICANA E APLICAÇÃO EM PÃES DE QUEIJO

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 Ciência e Tecnologia Agroindustrial.

Orientador: Prof. Dr. Alvaro Renato Guerra Dias

Pelotas, 2010

Dados de catalogação na fonte:
Ubirajara Buddin Cruz – CRB-10/901
Biblioteca de Ciência & Tecnologia - UFPel

M929e Moura, Fernanda Aline de
 Efeito do tratamento oxidativo sobre as propriedades da
 beta-glicana e aplicação em pães de queijo / Fernanda Aline
 de Moura. – 61f. : tab. – Dissertação (Mestrado). Programa
 de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Agroindustrial.
 Universidade Federal de Pelotas. Faculdade de Agronomia
 Eliseu Maciel. Pelotas, 2010. – Orientador Alvaro Renato
 Guerra Dias.

 1.Peróxido de hidrogênio. 2.Aveia. 3.Beta-glicana.
 4.Propriedades funcionais. 5.Reologia. I.Dias, Álvaro Renato
 Guerra. II.Título.

CDD: 664.725

Banca examinadora: Prof. Dr. Alvaro Renato Guerra Dias

Profa. Dra. Elizabete Helbig

Profa. Dra. Letícia Mascarenhas Pereira Barbosa

Prof. Dr. Manoel Artigas Schirmer

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho às mulheres da minha família. Em especial, dedico este trabalho a minha mãe Berta.

Agradecimentos

À minha família pelo apoio e por sempre acreditarem em mim, por me incentivarem e me fazerem acreditar que todo esforço vale a pena. Aos meus irmãos Felipe e Fabricia pelo incentivo e companheirismo. Aos meus pais Luiz Carlos e Berta por toda a dedicação, suporte e por serem meus exemplos de vida. Em especial à minha mãe Berta, por ser meu porto-seguro.

Ao Prof. Alvaro Renato Guerra Dias pela dedicação em me orientar, compartilhando de seus conhecimentos científicos e pela confiança.

Aos Profs. Moacir Cardoso Elias e Manoel Artigas Schirmer pela receptividade e pela disponibilidade.

À Profa. Elizabete Helbig, que desde a graduação vem me auxiliando e orientando, por servir de exemplo de competência, responsabilidade e dedicação.

Aos meus tios Darcila, Marlise, Neusa e Milton, à minha avó Sílvia (*in memoriam*) pela amizade, pelo incentivo e auxílio neste período em Pelotas.

Ao meu namorado Luiz Marino pelo carinho, companheirismo, incentivo e por compreender a necessidade do tempo dedicado a este trabalho.

À Daniele pela companhia, amizade, por compartilhar comigo de momentos de muita saudade e insegurança, mas também de inúmeros momentos de alegria.

À Elessandra pela amizade e pela disponibilidade em me ajudar.

À Elessandra, Franciela, Gilberto e Lúcia pela enorme amizade que desenvolvemos nesse período.

Aos colegas do Laboratório de Grãos, Juliane, Flávia, Daniel, Alexandra, Ana Paula, Maurício, Rafael, Diego, Vânia, Bruna, Ricardo, Jeferson pela companhia e pelo auxílio.

Aos estagiários Cristiano, Franciene, Daniele, Alberto, Marcos pelo auxílio.

A toda equipe do Laboratório de Grãos, ou demais pessoas que porventura não tenham sido citadas, e que de forma direta ou indireta colaboraram na execução deste trabalho.

Resumo

MOURA, Fernanda Aline. **Efeito do tratamento oxidativo sobre as propriedades da beta-glicana e aplicação em pães de queijo**. 2010. 61f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Agroindustrial. Universidade Federal de Pelotas.

Em vista da crescente preocupação com a saúde, a indústria e o mercado de alimentos buscam proporcionar aos consumidores alimentos com propriedades funcionais. As fibras solúveis, como a beta-glicana, apresentam essa propriedade e estão sendo estudadas quanto a seus efeitos fisiológicos e tecnológicos. A beta-glicana forma um gel de alta viscosidade e, para facilitar a sua incorporação aos alimentos, são realizadas pesquisas de modificação da beta-glicana, com o intuito de alterar as suas características como viscosidade e poder de intumescimento. No entanto, com essas modificações, os seus efeitos fisiológicos podem também ser alterados. Além disso, não há estudos sobre o efeito de tratamentos oxidativos sobre as propriedades da beta-glicana. O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito do tratamento oxidativo com peróxido de hidrogênio em diferentes concentrações (0,3; 0,6 e 0,9%) com dois tempos de reação, 30 e 60 minutos em beta-glicana extraída da aveia e, posteriormente, utilizá-la na formulação de pães de queijo nos níveis 2, 3 e 4%. O tratamento oxidativo promoveu aumento de grupos carbonila e carboxila, alterou o poder de intumescimento da beta-glicana e aumentou a liberação de glicose após digestão química. A capacidade de ligação com ácidos biliares aumentou com os tratamentos oxidativos, entretanto, não houve alteração da capacidade de ligação com gordura. Houve diminuição da dureza, adesividade e gomosidade, bem como da viscosidade do gel com os tratamentos oxidativos. A adição de beta-glicana oxidada promoveu diminuição do índice de expansão dos pães de queijo, e aumento da firmeza, com exceção dos tratamentos com beta-glicana nativa a 2% e oxidada com 0,9% de H₂O₂/30 min a 3%.

Palavras-Chave: peróxido de hidrogênio, aveia, beta-glicana, propriedades funcionais, reologia.

Abstract

MOURA, Fernanda Aline. **Effect of oxidative treatment on the properties of beta-glucan and cheese bread application.** 2010. 61f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Agroindustrial. Universidade Federal de Pelotas.

The growing attention to the health, the food industry and market look to provide foods with functional properties to the consumers. The soluble fibers, as beta-glucan, present this property and have been studied about their physiologic and technologic effects. The beta-glucan produce a gel with high viscosity, and research with the objective of alter the viscosity and swelling power for facilitate their incorporation in the foods has been accomplished. However, these modifications can alter the physiologic effects. Besides, don't exist studies about effect of oxidative treatment on the beta-glucan properties. The objective of this study was evaluate the effect of oxidative treatment with hydrogen peroxide in different concentrations (0,3; 0,6; 0,9%) and two times of reaction, 30 and 60 minutes, on the beta-glucan from oat and, later, apply in cheese bread in 2, 3, 4% levels. the oxidative treatment increase the carbonyl and carboxyl groups, affected the swelling power and increase glucose release after chemic digestion. The oxidative treatment increase bile acid binding capacity, however, didn't alter the fat binding capacity. Has decrease in hardness, adhesiveness and gumminess, as well as viscosity of gel with the oxidative treatment. The oxidized beta-glucan decrease the expansion factor and increase the firmness of cheese bread, with exception of the treatment with native beta-glucan at 2% and oxidized with 0,9% of H₂O₂/30 min at 3%.

Keywords: hydrogen peroxide, oat, beta-glucan, functional properties, rheology.

Lista de Figuras

Figura 1. Estrutura da beta-glicana.....	15
Figura 2. Fluxograma da extração de beta-glicana.....	30
Figura 3. Poder de intumescimento da beta-glicana nativa e oxidada com peróxido de hidrogênio.....	40
Figura 4. Liberação de glicose pela beta-glicana nativa e oxidada com peróxido de hidrogênio após digestão química.....	42
Figura 5. Razão adesividade/dureza dos géis de beta-glicana nativa e oxidada com peróxido de hidrogênio.....	47
Figura 6. Viscosidade das amostras de beta-glicana em gel a 3% nativa e oxidada com peróxido de hidrogênio.....	48
Figura 7. Corte transversal dos pães de queijo.....	54

Lista de Tabelas

Tabela 1. Delineamento dos tratamentos oxidativos realizados na beta-glicana, com diferentes concentrações de peróxido de hidrogênio e diferentes tempos de reação.....	28
Tabela 2. Delineamento da aplicação de beta-glicana nativa e oxidada na formulação de pães de queijo.....	29
Tabela 3. Formulação dos pães de queijo.....	36
Tabela 4. Percentual de carbonila, carboxila e somatório (carbonila + carboxila) da beta-glicana nativa e oxidada com peróxido de hidrogênio.....	38
Tabela 5. Capacidade de ligação com gordura e ligação com ácido cólico da beta-glicana nativa e oxidada com peróxido de hidrogênio.....	43
Tabela 6. Perfil de textura da beta-glicana nativa e oxidada com peróxido de hidrogênio.....	45
Tabela 7. Expansão dos pães de queijo com beta-glicana após forneamento.....	50
Tabela 8. Textura dos pães de queijo com beta-glicana.....	52

Sumário

1 INTRODUÇÃO.....	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
2.1 Beta-glicana.....	14
2.2 Extração de beta-glicana.....	17
2.3 Propriedades da beta-glicana.....	19
2.3.1 Diminuição do colesterol.....	19
2.3.2 Glicose e insulina.....	19
2.3.3 Poder de intumescimento.....	21
2.3.4 Viscosidade.....	22
2.3.5 Textura do gel.....	23
2.4 Aplicação da beta-glicana em produtos alimentícios.....	24
2.5 Oxidação.....	25
2.6 Pão de queijo.....	26
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	27
3.1 Material.....	27
3.2 Delineamento experimental.....	27
3.3 Extração da beta-glicana.....	29
3.4 Teor de beta-glicana, proteína e cinzas.....	31
3.5 Oxidação.....	31
3.6 Análises da beta-glicana.....	31
3.6.1 Teor de carbonila.....	31
3.6.2 Teor de carboxila.....	32
3.6.3 Poder de intumescimento.....	33
3.6.4 Capacidade de ligação com gordura.....	33
3.6.5 Capacidade de ligação com ácidos biliares.....	33
3.6.6 Digestão química e glicose.....	34
3.6.7 Geleificação.....	34
3.6.8 Textura dos géis.....	34
3.6.9 Viscosidade.....	35
3.7 Formulação e elaboração dos pães de queijo.....	35
3.8 Análises dos pães de queijo.....	37
3.8.1 Propriedade de expansão dos pães de queijo.....	37

3.8.2 Textura dos pães de queijo.....	37
3.9 Estatística.....	37
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	37
4.1 Beta-glicana.....	37
4.1.1 Teor de beta-glicana proteínas e cinzas.....	37
4.1.2 Carbonila e Carboxila.....	38
4.1.3 Poder de intumescimento.....	39
4.1.4 Liberação de glicose após digestão química.....	41
4.1.5 Capacidade de ligação com gordura e ácidos biliares.....	43
4.1.6 Textura dos géis.....	45
4.1.7 Viscosidade.....	47
4.2 Aplicação de beta-glicana em pão de queijo.....	49
4.2.1 Propriedade de expansão dos pães de queijo.....	49
4.2.2 Textura dos pães de queijo.....	51
4.2.3 Corte transversal dos pães de queijo.....	53
5 CONCLUSÕES.....	55
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	56

1 INTRODUÇÃO

O consumo de alimentos ricos em fibras traz diversos benefícios à saúde, tais como perda de peso, melhora do perfil lipídico sanguíneo e diminuição dos níveis de glicose sanguínea. Dentre as fibras dietéticas, as solúveis têm recebido mais atenção devido à capacidade de formar gel viscoso, que auxilia no controle de peso pelo aumento da sensação de saciedade. Além disso, o consumo de fibras solúveis promove diminuição dos picos glicêmicos pós-prandiais e melhora do perfil lipídico sanguíneo, pela diminuição da absorção de gorduras, sais biliares e colesterol no trato gastrointestinal. Dentre as fibras com estas características encontra-se a beta-glicana, presente em cereais como aveia e cevada.

A beta-glicana, além de outras fibras solúveis como a xantana e a goma guar, são muito utilizadas em produtos de panificação como pães e bolos e, além de aumentar o teor de fibra do alimento, também promovem aumento de volume da massa. A beta-glicana também pode ser incorporada a alimentos como biscoitos, sopas, bebidas, molhos. Em função disso, busca-se produzir isolados ou concentrados de beta-glicana, a partir da aveia ou da cevada, para introduzi-los nos alimentos e melhorar as suas propriedades funcionais e tecnológicas.

A beta-glicana forma um gel de alta viscosidade com propriedades específicas, razão pela qual têm sido realizados estudos para modificar as suas propriedades reológicas, através de hidrólises ácidas e enzimáticas, que alterem a viscosidade do gel para melhor adequá-la a produtos alimentícios e para melhorar suas propriedades fisiológicas. Com a diminuição da viscosidade do gel é mais fácil incorporar a fibra aos alimentos, pois praticamente não ocorre alteração na textura do produto final. Entretanto, a estrutura e viscosidade da beta-glicana podem estar relacionadas com as suas propriedades funcionais. Existem poucos estudos sobre modificações na sua estrutura, sendo a modificação oxidativa não relatada na literatura.

Tratamentos oxidativos são comumente utilizados em amido, visando melhorar ou adequar as propriedades reológicas do gel ao tipo de alimento produzido, já que, muitas vezes, o amido nativo não atende às características desejáveis, tais como menor viscosidade, maior solubilidade, menor retrogradação e maior claridade do gel. No entanto, se o tratamento oxidativo for muito intenso, pode causar hidrólise da molécula. Outra propriedade interessante de amido oxidado,

principalmente o amido de mandioca, é o aumento da expansão da massa que ocorre durante forneamento, o que é desejável em produtos como pães de queijo e biscoitos de polvilho.

Pão de queijo é um produto com grande aceitação pela população, entre todas as faixas etárias. Além disso, representa uma fonte de alimentação alternativa para os portadores da doença celíaca, caracterizada pela intolerância ao glúten. O glúten está presente na farinha de trigo, centeio, aveia, cevada e triticale, que geralmente são a base das massas dos produtos de panificação como pães, bolos e biscoitos. A massa dos pães de queijo é feita com amido de mandioca, portanto sem glúten. No entanto, os pães de queijo são produtos pobres em fibra alimentar.

A indústria de alimentos tem grande interesse em produzir alimentos seguros para os portadores da doença celíaca com maior teor de fibra alimentar, o que pode ser promovido pela adição de beta-glicana aos pães de queijo. A oxidação da beta-glicana, por inserir grupos funcionais como carbonila e carboxila, além de promover uma despolimerização, pode conferir ou aumentar as propriedades fisiológicas dos pães de queijo, bem como melhorar as características tecnológicas do produto.

O objetivo deste estudo foi avaliar as propriedades físico-químicas, reológicas e fisiológicas da beta-glicana oxidada com peróxido de hidrogênio em diferentes concentrações e diferentes tempos de reação e aplicá-la na formulação de pães de queijo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Beta-glicana

A beta-glicana é um polissacarídeo composto por unidades D-glicose, com ligações β -1,4 e β -1,3, sendo a maioria (70%) das ligações glicosídicas do tipo β -1,4, que lhe conferem uma conformação linear, e ligações isoladas de β -1,3 (Figura 1). É um dos componentes da parede celular de gramíneas e o maior componente estrutural da parede celular endospermica de aveia e cevada (TOSH et al., 2004; WOOD, 2007). No grão, a beta-glicana nativa apresenta alto peso molecular, em torno de 2-3 milhões Da (LYLY et al., 2004).

As cadeias de ligações β -1,4, semelhantes à celulose, podem exibir relações inter-cadeia pela formação de fortes pontes de hidrogênio, com baixa solubilidade. As ligações β -1,3 quebram a regularidade da sequência de ligações β -1,4 e conferem à molécula de beta-glicana um formato que é frequentemente descrito como um rolo vermiforme, que confere a característica de solubilidade e flexibilidade da molécula. Em uma solução com concentração suficiente de beta-glicana, há formação de um gel de alta viscosidade. (MALKKI e VIRTANEN, 2001; TOSH et al., 2004).

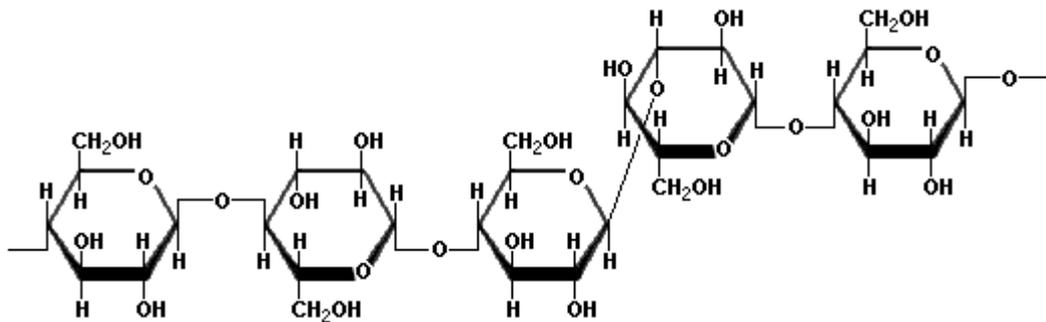


Figura 1. Estrutura da beta-glicana

Fonte: Scientific psychic

O teor de beta-glicana nos cereais varia muito entre as espécies, dentro da mesma espécie, de acordo com a cultivar e entre os anos da safra. Fujita e Figueroa (2003) avaliaram o teor de beta-glicana em diferentes cultivares de aveia, cevada, trigo e triticale. As amostras de aveia apresentaram variação entre 5,94 e 6,48 % de beta-glicana, sendo o maior valor encontrado na aveia cultivar IAC-7. Para a cevada a variação foi de 2,04 a 9,08%, para o trigo foi de 0,51 a 0,72% e para o triticale foi de 0,47 a 0,50%. No entanto, podem ser encontrados valores de até 7% de beta-glicana em aveia e 15% em cevada (VASANTHAN e TEMELLI, 2008). Já nos produtos comerciais o maior teor de beta-glicanas se encontra no farelo de aveia que contém 9,68%, seguido dos flocos de aveia com 7,03% (FUJITA e FIGUEROA, 2003).

As ligações β não são digeridas pelas enzimas do trato gastrointestinal humano, por isso a beta-glicana é classificada como fibra solúvel (BURKUS e TEMELLI, 2005). Os efeitos benéficos da beta-glicana à saúde são bem

documentados. Quando presente na dieta, essa fibra diminui os riscos de desenvolver doenças crônicas como diabetes e doenças cardiovasculares, por meio da diminuição da glicemia pós-prandial, diminuição da atividade das enzimas digestivas, diminuição dos níveis de colesterol sanguíneo e atividade antiaterogênica (DELANEY et al., 2003; WOOD, 2007). Também há evidências de que a beta-glicana tem ação prebiótica, estimulando o crescimento seletivo da microbiota intestinal, com produção de ácidos graxos de cadeia curta pela fermentação e inibição do crescimento de microrganismos patogênicos (MALKKI e VIRTANEN, 2001).

Recentes pesquisas indicam que a eficácia da fibra como ingrediente funcional pode estar relacionada ao processo de extração e fatores como dose, peso molecular, arranjo estrutural e viscosidade (BRENNAN e CLEARY, 2005; WOOD, 2007). De acordo com Lazaridou e Biliaderis (2007), a funcionalidade da beta-glicana está relacionada com as suas propriedades físico-químicas como solubilidade, poder de intumescimento, formação de gel e propriedades de ligação com outros compostos.

Quanto à dose de ingestão de beta-glicana necessária para usufruir de seus efeitos funcionais, de acordo com Wood (2007), há uma correlação inversa entre os níveis séricos de colesterol e a ingestão de beta-glicana, quanto maior a ingestão de beta-glicana, maiores seus efeitos na diminuição do colesterol. No entanto, isso foi verificado em indivíduos que receberam doses entre 3 e 6 gramas de beta-glicana, não sendo verificado correlação linear com ingestão de até 10 gramas de beta-glicana por dia. A recomendação da ANVISA (2008) no Brasil é de que os alimentos contêmham 3 gramas de beta-glicana na porção do alimento sólido pronto para o consumo (em torno de 150 kcal), ou de 1,5 gramas no alimento líquido (em torno de 150 kcal). Com essas quantidades de beta-glicana de aveia o alimento pode conter a alegação *“A beta glucana (fibra alimentar) auxilia na redução da absorção de colesterol. Seu consumo deve estar associado a uma alimentação equilibrada e hábitos de vida saudáveis”*

A FDA (Food and Drug Administration, 2006) recomenda que, juntamente com uma dieta com baixos níveis de colesterol e gordura saturada, é necessário o consumo diário de, no mínimo, 3 gramas de beta-glicana por dia, proveniente de aveia ou cevada para reduzir o risco de desenvolver doenças cardiovasculares.

2.2 Extração de beta-glicana

Para incorporar a beta-glicana aos alimentos, busca-se produzir através de diferentes métodos de extração, concentrados ou isolados de beta-glicana. Os concentrados apresentam aproximadamente 8-30% de beta-glicana e os isolados em torno de 95% de beta-glicana. Na maioria das vezes a beta-glicana é extraída de aveia ou cevada, principalmente em função da sua localização no grão, fator que mais influencia nos processos de isolamento e purificação de beta-glicana. Na aveia e cevada encontra-se no endosperma, enquanto no trigo encontra-se em maior concentração nas camadas de subaleurona e muito pouco no endosperma, dificultando a sua extração (LAZARIDOU e BILIADERIS, 2007). Há também diferenças na localização da beta-glicana na cevada e na aveia, na cevada ela encontra-se distribuída uniformemente no endosperma, e na aveia ela está mais concentrada nas camadas externas do endosperma do grão (VASANTHAN e TEMELLI et al., 2008).

O processamento do cereal, necessário para aumentar seu tempo de armazenamento, também pode influenciar na extratibilidade da beta-glicana. A secagem e o congelamento podem diminuir a disponibilidade de beta-glicana nos cereais. Na secagem isso se deve à expulsão das moléculas de água da estrutura dos polissacarídeos, tornando-os menos solúveis e criando novas barreiras para penetração da água. No congelamento ocorre redução do peso molecular da beta-glicana durante os ciclos de congelamento/descongelamento (MALKKI e VIRTANEN, 2001; JOHANSSON et al., 2007).

Vários métodos foram desenvolvidos para extração de beta-glicana, usando-se de tecnologias secas ou úmidas (VASANTHAN e TEMELLI, 2008). Como tecnologias secas podem ser citadas:

- Polimento (remoção gradual de outras camadas de tecido do grão por abrasão).
- Moagem seca/escamação e peneiramento (redução do tamanho das partículas e separação das partículas por tamanho).
- Moagem seca e classificação por ar (redução do tamanho da partícula e separação das partículas por densidade).

As tecnologias úmidas podem ser:

- Processo de extração aquoso ou alcalino-aquoso (solubilização e recuperação da beta-glicana).
- Processo alcoólico-aquoso enzimático (beta-glicana não é solubilizada, mas outros componentes vão sendo seletivamente removidos).
- Processo enzimático aquoso (amido e beta-glicana são solubilizados por tratamentos físicos e enzimáticos e recuperados).
- Processo aquoso termo-mecânico (amido e beta-glicana são solubilizados por tratamentos físicos e recuperados).

Há também um método muito usado, desenvolvido por Knukles, Hudson e Chiu (1997), que usa os processos secos e úmidos. De acordo com este método, é realizada moagem seca do grão, o farelo resultante é desengordurado e passa por sucessivas moagens secas e peneiramento, com posterior tratamento aquoso e precipitação em álcool.

As tecnologias secas para concentrar beta-glicana são mais simples, no entanto, geram produtos com baixa concentração de beta-glicana, que chegam a no máximo 30%. Os processos aquosos resultam em produtos com maior concentração de beta-glicana (acima de 25%), entretanto, são tecnologias mais caras, que necessitam utilização de um grande volume de água, reagentes e enzimas. Além disso, pode ocorrer diminuição da viscosidade da beta-glicana em solução aquosa, devido aos processos de mistura e centrifugação que podem degradar a molécula, ou pelas enzimas endógenas como celulase e beta-glucanase que estão presentes naturalmente na farinha. Estas enzimas tornam-se ativas em sistemas aquosos, causando despolimerização da molécula e, conseqüentemente, diminuição da viscosidade do gel (VASANTHAN e TEMELLI, 2008).

Em geral, os concentrados de beta-glicana disponíveis no mercado variam de 6 a 75% de pureza, com diferentes pesos moleculares, pois as mudanças no pH e temperatura durante o processo de extração também podem alterar a estrutura dos polissacarídeos. É necessário a realização de mais estudos de extração de beta-glicana, visando simplificar os métodos, minimizar a utilização de água, enzimas e reagentes químicos, obtendo-se altas concentrações de beta-glicana, sem provocar grandes modificações na sua estrutura, preservando as suas propriedades funcionais. Dessa forma haverá diminuição dos custos da produção de concentrados e isolados de beta-glicana, facilitando a sua produção com qualidade em escala industrial. (VASANTHAN e TEMELLI, 2008; AHMAD et al., 2010).

2.3 Propriedades da beta-glicana

2.3.1 Diminuição do colesterol

A beta-glicana possui efeito protetor contra as doenças cardiovasculares, pela diminuição dos níveis de colesterol sanguíneo (WOOD, 2007). A beta-glicana promove inibição da digestão e absorção de gordura da dieta, pelo aumento da viscosidade do conteúdo intestinal, influenciando na emulsificação das gorduras através do aumento do tamanho das gotículas, o que diminui a superfície de contato entre os lipídios e a fase aquosa, promovendo diminuição da absorção e aumento da excreção de gordura nas fezes (LAZARIDOU e BILIADERIS, 2007).

A beta-glicana também promove diminuição da absorção e reabsorção de colesterol, de ácidos biliares e seus metabólitos, fazendo com que estes sejam eliminados nas fezes. Os ácidos biliares são formados no fígado a partir de colesterol. A inibição da sua reabsorção no intestino, assim como a de colesterol e gordura, são importantes para a diminuição dos níveis de colesterol sanguíneo (DELANEY et al., 2003; BAE et al., 2009).

Delaney et al. (2003), administrou dietas contendo 2, 4 ou 8 gramas de beta-glicana de aveia ou cevada/100 gramas de dieta para hamsters. Verificaram que o consumo de beta-glicana promoveu diminuição da absorção de colesterol no intestino, evidenciado pelo aumento da sua excreção fecal, refletindo numa diminuição do colesterol total sanguíneo dos animais.

Em estudo *in vitro*, a beta-glicana inibiu a captação de colesterol e ácidos graxos de cadeia longa pelo intestino de ratos, quando em altas concentrações de ácido graxo, além de promover diminuição da expressão de genes envolvidos na lipogênese e transporte de lipídios (DROZDOVSKI et al., 2009). Liatis et al. (2009) administraram pães contendo beta-glicana a pacientes com diabetes tipo 2 e verificaram melhora no perfil lipídico desses pacientes.

2.3.2 Glicose e insulina

Além dos seus efeitos hipocolesterolêmicos, a beta-glicana também possui efeito regulador sobre os níveis sanguíneos de glicose e insulina. A beta-glicana tem ação na redução da glicose sanguínea pós-prandial, pela diminuição do fluxo de

glicose através do aumento da viscosidade e capacidade de ligação com água que confere ao conteúdo gastrointestinal, interferindo na digestão enzimática e absorção dos nutrientes na mucosa intestinal (BAE et al., 2009; HOODA et al., 2010).

A hipoglicemia é um sintoma muito comum em portadores de diabetes tipo 1, principalmente durante a noite. Em função da digestão dos carboidratos e da absorção de glicose ocorrerem de forma mais lenta quando a beta-glicana é consumida nas refeições, o risco de desenvolver hipoglicemia em portadores de diabetes tipo 1 também é menor (MIRA, GRAF e CÂNDIDO, 2009).

De acordo com Liatis et al. (2009), a beta-glicana é eficiente na redução da glicemia e insulinemia tanto em indivíduos saudáveis quanto em portadores de diabetes tipo 2. Hiperinsulinemia é um indicador de resistência a insulina, que pode indicar um potencial para desenvolver diabetes tipo 2, e geralmente também está associada com aumento de peso. A diminuição da resposta insulínica é proporcional a redução da absorção de glicose no intestino (BEHALL et al., 2006).

Pães contendo concentrado de beta-glicana foram administrados como terapia nutricional a pacientes com diabetes tipo 2, e após o tratamento verificou-se melhora na resistência a insulina nestes indivíduos (LIATIS et al., 2009). De acordo com Cleary, Andersson e Brennan (2007), a melhora da qualidade nutricional de pães com farinha de trigo contendo beta-glicana deve-se a uma redução da digestibilidade do amido presente na farinha. Hooda et al. (2010), ao administrarem dietas contendo 6% de beta-glicana a porcos verificaram diminuição do pico de glicemia e produção de insulina, além de aumento da fermentação no intestino e produção de propionato e butirato.

Devido ao baixo impacto glicêmico provocado pela beta-glicana após as refeições, os alimentos contendo beta-glicana, assim como outras fibras solúveis, podem ser considerados alimentos de baixo índice glicêmico. Índice glicêmico é um método pelo qual os alimentos podem ser classificados com base no seu potencial de aumentar a glicose sanguínea, em relação à quantidade de carboidrato disponível no alimento (MIRA, GRAF e CÂNDIDO, 2009).

Chillo et al. (2010) fabricaram massa espaguete de semolina enriquecida com dois concentrados de beta-glicana comerciais, com aproximadamente 25 e 75% de beta-glicana. Os concentrados foram adicionados isoladamente em 2, 4, 6, 8 e 10% na formulação de espaguete. A massa espaguete foi cozida e administrada a indivíduos saudáveis, verificando-se a resposta glicêmica 120 minutos após a

refeição. O consumo de espaguete com concentrado de 25% de beta-glicana promoveu diminuição da resposta glicêmica e do índice glicêmico de acordo com o aumento da concentração na formulação, no entanto, a massa espaguete com concentrado de 75% de beta-glicana não promoveu variação significativa na resposta glicêmica e do índice glicêmico entre os percentuais utilizados nas formulações (de 2 a 10%).

2.3.3 Poder de intumescimento

Poder de intumescimento das fibras dietéticas é o volume adquirido após absorver sua máxima quantidade de água, e está ligado a diminuição da digestão e absorção de nutrientes no trato gastrointestinal. O poder de intumescimento das fibras dietéticas pode estar relacionado aos efeitos de diminuição do colesterol sanguíneo e o controle de peso (BAE et al., 2009).

Quando ingerida, a beta-glicana absorve água e intumesce no trato gastrointestinal. A taxa de intumescimento e dissolução depende do tamanho da partícula e de tratamentos hidrotérmicos previamente realizados. Com o aumento do volume ocorre distensão do estômago causando sensação de saciedade, o que auxilia no controle de peso, atuando na prevenção e tratamento da obesidade (MALKKI e VIRTANEN, 2001).

A beta-glicana sofre intumescimento e dissolve-se gradualmente em água a temperatura ambiente ou altas temperaturas. Os principais fatores que alteram a solubilidade são temperatura, conteúdo de umidade do concentrado ou isolado de beta-glicana, peso molecular e possíveis barreiras para penetração e difusão da água no material dissolvido (MALKKI e VIRTANEN, 2001).

De acordo com Bae et al. (2009), a beta-glicana nativa apresenta alto poder de intumescimento, podendo diminuir após ocorrer hidrólise da molécula. No entanto, no seu estudo, as amostras de beta-glicana hidrolisadas apresentaram semelhante poder de intumescimento, diferindo apenas em relação à beta-glicana nativa que apresentou poder de intumescimento maior. Os autores sugerem que o poder de intumescimento não é diretamente afetado pela diminuição do peso molecular, mas sim por determinados pesos moleculares.

Além dos efeitos fisiológicos, a absorção de água de um componente do alimento determina não somente a aceitabilidade do produto final em termos de

textura e suculência, mas também a sua margem de lucro. Estes índices são essenciais em alimentos como a gelatina, na qual se obtém um produto com aproximadamente 95% de água. A capacidade de retenção de água é de grande utilidade na fabricação de produtos cárneos, impedindo a perda de água no processo de cozimento, em produtos de panificação e em alimentos viscosos como sopas (CHAUD e SGARBIERI, 2006).

2.3.4 Viscosidade

A beta-glicana nativa produz um gel de alta viscosidade quando dissolvida em água, entretanto, pode haver perda da viscosidade pela degradação que ocorre durante a extração e posteriores processamentos. Determinados polissacarídeos, entre eles a beta-glicana apresentam comportamento Newtoniano quando dispersados em água, ou seja, a viscosidade é determinada pela concentração, temperatura e peso molecular (BURKUS e TEMELLI, 2005; LAZARIDOU e BILIADERIS, 2007).

Em geral a beta-glicana produz um gel de alta consistência com baixa concentração, em torno de 1%, sendo usadas suspensões de até 6% (DONGOWSKI et al., 2005). Além da beta-glicana nativa, as parcialmente hidrolisadas também podem apresentar viscosidade alta (TOSH et al., 2004).

A temperatura causa mudanças reversíveis na viscosidade da beta-glicana, geralmente a viscosidade diminui com o aumento da temperatura (BURKUS e TEMELLI, 2005). A viscosidade do gel de beta-glicana é estável numa faixa de pH entre 2 e 10. Por essas características a beta-glicana pode ser usada pela indústria como espessante em alimentos como pudins, sopas, molhos, conferindo também características funcionais ao alimento (DONGOWSKI et al., 2005).

A viscosidade da beta-glicana está relacionada com as suas propriedades funcionais, tendo papel importante na redução dos níveis de glicose pós-prandial e na resposta insulínica, e transporte dos ácidos biliares, gordura e colesterol pelo intestino para serem eliminados nas fezes (DONGOWSKI et al., 2005).

O peso molecular é determinante na viscosidade do gel de beta-glicana. A diminuição do peso molecular acarreta em diminuição da viscosidade, portanto, qualquer tratamento químico, enzimático, tratamento para armazenamento, congelamento, processamento, ou cozimento, que altere o peso molecular pode

alterar a viscosidade e ocasionar alteração das suas propriedades funcionais (WOOD, 2007; JOHANSSON et al., 2006).

Bae et al. (2009), verificaram diminuição da viscosidade do gel de beta-glicana após provocar hidrólise da molécula com enzima celulase, que promove quebra das ligações β -1,4. A diminuição da viscosidade foi maior conforme aumentou a concentração de enzima e o tempo de reação. A perda da viscosidade também foi observada por Tosh et al. (2004) e Johansson et al. (2006), quando promoveram hidrólises químicas e enzimáticas na beta-glicana.

Outro fator que pode afetar a viscosidade da beta-glicana é o tempo de armazenamento. Kivelä et al. (2009) armazenaram concentrados de beta-glicana em solução a 6 °C por até três semanas. Os autores verificaram significativa variação na viscosidade no decorrer do tempo de armazenamento, com diminuição de aproximadamente 2%, 15%, 25% e 40% da viscosidade após 1 dia, 1 semana, 2 semanas e 3 semanas, respectivamente. Essa perda da viscosidade ocorreu em função da diminuição do peso molecular da beta-glicana durante o armazenamento.

2.3.5 Textura do gel

A formulação de um alimento envolve uma mistura complexa de ingredientes, incluindo biopolímeros capazes de formar gel e espessantes, onde os polissacarídeos têm papel importante devido ao seu efeito na textura dos alimentos. Determinados polissacarídeos (como a galactomanana, beta-glicana e carragena) podem melhorar as propriedades mecânicas como elasticidade e força do gel (XU et al., 2009).

Análises de perfil de textura têm sido muito usadas para verificar as propriedades de textura de alimentos. A textura pode ser considerada como uma manifestação das propriedades reológicas de um alimento e constitui um atributo importante de qualidade, pois influencia os hábitos alimentares, a preferência do consumidor, afetando o processamento e manuseio dos alimentos (MACHADO e PEREIRA, 2010). Os parâmetros de textura obtidos pelo texturômetro através das curvas de força/deformação estão relacionados com a avaliação sensorial dos parâmetros de textura, sendo usado rotineiramente para avaliar textura de géis (LAU, TANG e PAULSON, 2000).

Estudo de Huang et al. (2007), avaliou a textura de géis de amido de arroz com adição de gelana, carragena e glucomanana em diferentes concentrações. Como resultados, os autores obtiveram aumento da dureza do gel com baixas concentrações de carragena (<0,3%) e com altas concentrações de gelana (>0,3%). Houve também aumento da adesividade dos géis com carragena e gelana, devido às forças coesivas e viscoelásticas desses polissacarídeos.

2.4 Aplicação da beta-glicana em produtos alimentícios

Hidrocolóides como a beta-glicana, gelana, xantana, entre outros, oferecem boas propriedades tecnológicas aos alimentos, sendo utilizadas frequentemente como agentes emulsificantes, espessantes, ligantes, em suspensões e coberturas (LAU, TANG e PAULSON, 2000).

A indústria de alimentos apresenta interesse em desenvolver novos produtos com características funcionais, sendo a adição de concentrados de beta-glicana aos alimentos uma boa opção para obter produtos com essas características. A beta-glicana pode ser adicionada a vários alimentos como pães, biscoitos, sopas (LYLY et al., 2004; CLEARY, ANDERSSON e BRENNAN, 2007), ou em substituição à gordura para produzir alimentos com baixo teor de gordura, como queijos ou produtos cárneos como hambúrgueres, linguiças, almôndegas e empanados (VOLIKAKIS et al., 2004; PIÑERO et al., 2008).

Piñero et al. (2008) elaboraram empanados de carne bovina com baixo teor de gordura, adicionando 13,45% de beta-glicana na forma de gel, diminuindo de 20% para 5,77% o teor de gordura dos empanados. Os autores não observaram diferenças na análise sensorial em relação ao controle, sem beta-glicana. Segundo os autores, isso se deve ao fato de ocorrer maior retenção de umidade durante o cozimento nos empanados com beta-glicana, além de promover maior rendimento de cocção e preservar a maciez do produto.

Entretanto, segundo Bae et al. (2009) a utilização de beta-glicana em determinados alimentos é limitada pela alta viscosidade do gel. Vários pesquisadores têm estudado as alterações no peso molecular e na estrutura da molécula da beta-glicana, diminuindo seu peso molecular e, conseqüentemente, a viscosidade do gel e utilizam-se de tratamentos químicos e enzimáticos para promover essas alterações (TOSH et al., 2004; JOHANSSON et al., 2006). No

entanto, as propriedades fisiológicas da beta-glicana podem estar relacionadas com a viscosidade do gel (WOOD, 2007).

De acordo com alguns autores, a adição de farinhas ou extratos de beta-glicana nativa de cereais a pães pode resultar em mudanças físico-químicas indesejáveis, tais como diminuição da extensibilidade da massa, redução na altura e volume do pão e mudanças na estrutura da casca. Com intuito de melhorar as características dos pães com beta-glicana, foram realizadas pesquisas com incorporação de beta-glicana com diferentes pesos moleculares em pães, verificando-se que beta-glicana de baixo peso molecular afeta menos as características do pão, e que pães contendo beta-glicana em diferentes pesos moleculares não diferem em seus efeitos sobre as concentrações sanguíneas de glicose, insulina e lipídios (FRANK et al., 2004; CLEARY, ANDERSSON e BRENNAN, 2007).

Com adição de 0,25 a 2,0% de beta-glicana a sopas, Lyly et al. (2004) verificaram a viscosidade e a qualidade sensorial das sopas frescas e após o congelamento. Com o aumento da concentração de beta-glicana houve aumento da viscosidade das sopas, causando também alterações na qualidade sensorial. Após o congelamento não foram observadas alterações nas características sensoriais das sopas, entretanto a viscosidade teve uma diminuição de 30%.

2.5 Oxidação

A oxidação é um tipo de modificação que altera as características e propriedades funcionais de polímeros. Os agentes químicos oxidantes mais utilizados são peróxido de hidrogênio e hipoclorito de sódio (KUAKPETOON e WANG, 2008; TOLVANEN et al., 2009). Tratamentos oxidativos são comumente utilizados em polímeros como amido, alginato e quitosana. Nesses polissacarídeos, ocorre oxidação dos grupos hidroxila primeiramente à grupos carbonila e posteriormente à grupos carboxila, podendo também causar despolimerização da molécula, com a modificação de suas propriedades funcionais (WANG e WANG, 2003; TIAN et al., 2004; LI et al., 2010).

Os amidos oxidados são muito utilizados na indústria alimentícia porque possuem características como: baixa viscosidade, alta estabilidade a baixa temperatura, propriedade de retenção de água, e são utilizados como agentes

ligantes e emulsificantes. A oxidação de amido com peróxido de hidrogênio também aumenta a claridade da pasta (SINGH, KAUR e MCCARTHY, 2007).

O amido de mandioca fermentado, com posterior tratamento oxidativo com peróxido de hidrogênio aumenta a propriedade de expansão durante o forneamento, o que é desejável para melhorar a qualidade de determinados produtos, como biscoitos de polvilho e pães de queijo (DIAS et al., 2007).

A oxidação da quitosana, proveniente de casca de camarão, com hipoclorito de sódio promoveu alterações na solubilidade e na capacidade de ligações com sais biliares, porém, é necessário um controle efetivo dos níveis de oxidação para obtenção de boas propriedades físico-químicas e biológicas (Yoo et al., 2005). No entanto, até o presente momento, não existem pesquisas de oxidação de beta-glicanas sobre suas propriedades reológicas, biológicas e tecnológicas.

2.6 Pão de queijo

O pão de queijo é um produto tradicionalmente brasileiro, obtido da mistura de polvilho (amido de mandioca) com água ou leite, queijo, ovos, sal e gordura, podendo variar o tipo de polvilho (doce, azedo ou a mistura destes). A produção do pão de queijo está em expansão, inclusive para o mercado externo. No entanto, o pão de queijo não apresenta um padrão de qualidade estabelecido, não existindo uma tecnologia de produção, caracterização ou tipificação do produto. A diversificação dos pães de queijo no mercado ocorre em função da não existência de um padrão de qualidade (ZAVAREZE et al., 2009).

Considerando que cada vez mais a população está em busca de alimentos de fácil e rápido preparo, como os congelados, o pão de queijo apresenta vantagens de incluir ingredientes de fácil aquisição em sua formulação e de sua massa ter a possibilidade de ser congelada, satisfazendo as necessidades dos consumidores. Com a possibilidade de congelamento da massa e a grande comercialização das misturas prontas, o pão de queijo ocupa o segundo lugar entre os produtos nacionais mais requisitados pelos brasileiros que vivem no exterior (ZAVAREZE et al., 2009).

Por ser um produto de grande aceitação entre a população brasileira, o pão de queijo é consumido por todas as faixas etárias e classes sociais. No mercado podem ser encontrados pães de queijo já modelados e congelados, em pó para

posterior adição de ingredientes ou ainda na forma de massa congelada (OLIVEIRA e MORAES, 2009).

Além disso, o pão de queijo, assim como os biscoitos apresentam-se como uma alternativa para produção de alimento sem glúten, já que utilizam como ingrediente básico o amido de mandioca que é isento de glúten. No entanto, segundo Montenegro et al. (2008) produtos com polvilho apresentam baixo valor nutricional agregado pelo baixo teor de fibras. Com a inclusão de fibras na sua formulação, enriqueceria sua composição nutricional, traduzindo-se em benefícios à saúde e tornando-o um produto inovador.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi executado no Laboratório de Grãos do Departamento de Ciência e Tecnologia Agroindustrial, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, UFPel, Pelotas, RS.

3.1 Material

Farelo de aveia cultivar IAC-7, gentilmente cedido pela Cerealle Indústria e Comércio de Cereais Ltda. Os ingredientes para formulação dos pães de queijo (leite, ovos, amido de mandioca, sal, óleo e queijo) foram adquiridos no comércio local da cidade de Pelotas, RS.

3.2 Delineamento experimental

O estudo consta de dois experimentos; o primeiro se caracteriza pela oxidação da beta-glicana, e o segundo, a aplicação da beta-glicana nativa e oxidada na formulação de pães de queijo. A Tabela 1 apresenta o delineamento do primeiro experimento, com os tratamentos oxidativos realizados na beta-glicana com diferentes concentrações de peróxido de hidrogênio (0,3; 0,6; 0,9%) em dois tempos de reação (30 e 60 min), totalizando 7 tratamentos.

Tabela 1. Delineamento dos tratamentos oxidativos realizados na beta-glicana, com diferentes concentrações de peróxido de hidrogênio e diferentes tempos de reação.

Variáveis independentes		Variáveis dependentes
H ₂ O ₂ (%)	Tempo (min)	
	Nativa	% carbonila e % caboxila
0,3	30	Poder de intumescimento
0,6	30	Capacidade de ligação com gordura
0,9	30	Capacidade de ligação com ácidos biliares
0,3	60	Digestão química e glicose
0,6	60	Viscosidade
0,9	60	Textura

A Tabela 2 apresenta o Delineamento da aplicação da beta-glicana nos pães de queijo, com a utilização da beta-glicana nativa e duas amostras oxidadas, nos níveis 2, 3 e 4% em relação ao amido de mandioca. Foi considerado padrão o tratamento em que foi utilizado apenas amido de mandioca, dessa forma totalizando 10 tratamentos. As amostras oxidadas foram provenientes dos tratamentos que apresentaram a melhor capacidade de ligação com ácidos biliares e que apresentaram níveis distintos de carboxila e carbonila.

Tabela 2. Delineamento da aplicação de beta-glicana nativa e oxidada na formulação de pães de queijo.

Variáveis independentes		Variáveis dependentes
Tratamento	% na formulação	
Padrão	0	
Nativa	2	
Nativa	3	
Nativa	4	
0,6% de H ₂ O ₂ /30 min	2	Propriedade de expansão
0,6% de H ₂ O ₂ /30 min	3	Textura (firmeza e flexibilidade)
0,6% de H ₂ O ₂ /30 min	4	
0,9% de H ₂ O ₂ /30 min	2	
0,9% de H ₂ O ₂ /30 min	3	
0,9% de H ₂ O ₂ /30 min	4	

3.3 Extração da beta-glicana

Para extração da beta-glicana o farelo de aveia (80 g) foi tratado com água destilada (1800 mL) a 90 °C com agitação durante 10 minutos. Em seguida, a mistura foi fragmentada em liquidificador durante 5 minutos e tratada por mais 50 minutos a 90°C sob agitação. Após centrifugação a 7500 g por 20 minutos, o sobrenadante foi coletado, sendo em seguida adicionado etanol 96% na proporção 1:1 e deixado em repouso por 24 horas a 4 °C para precipitação da beta-glicana. A beta-glicana foi submetida a secagem em estufa com circulação de ar por 2 horas a 60 °C. Após a secagem, a amostra foi triturada em moinho de facas e desengordurada em Soxhlet com hexano. Na Figura 2 é possível visualizar um fluxograma do processo de extração da beta-glicana.

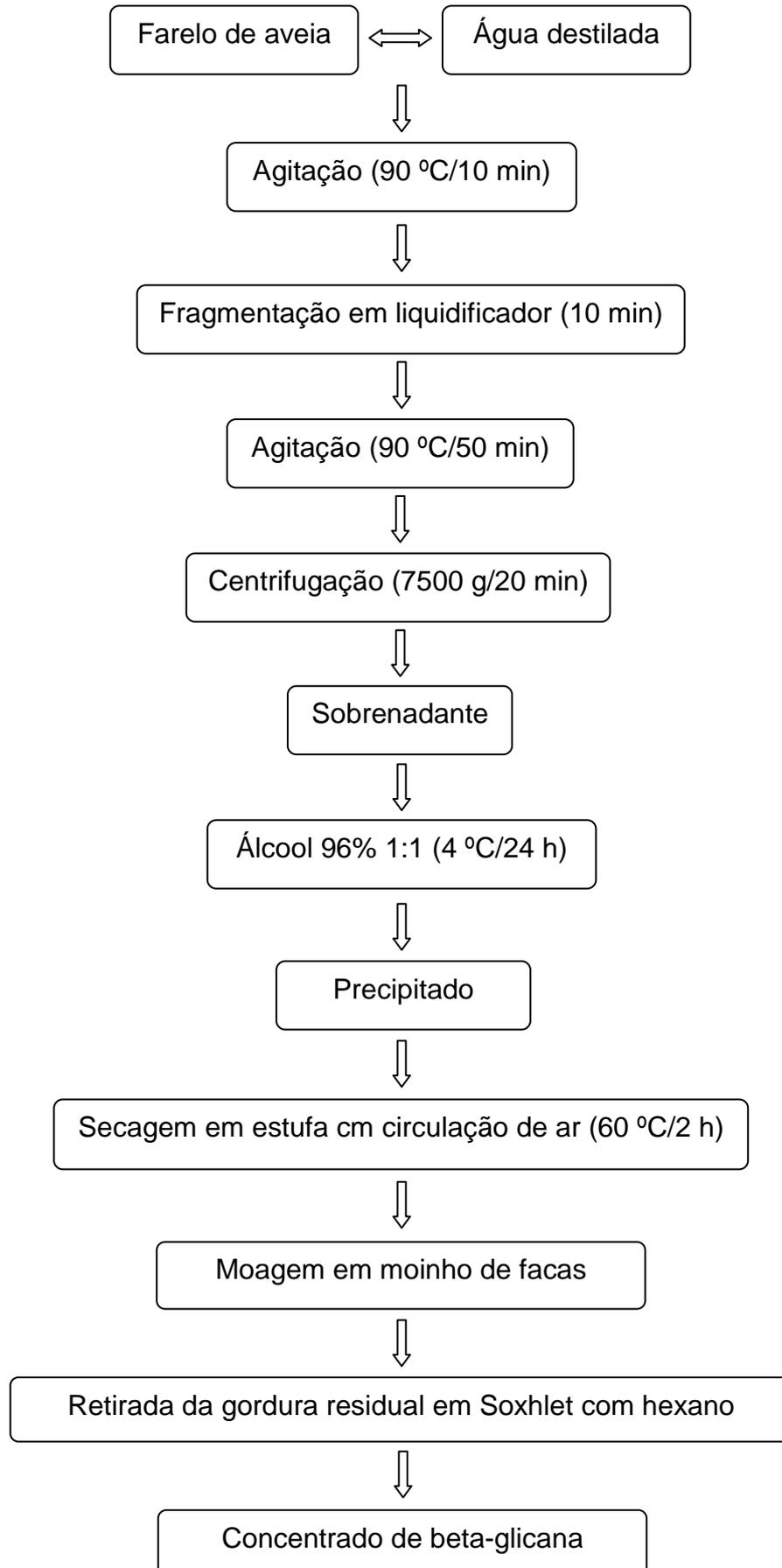


Figura 2. Fluxograma da extração de beta-glicana.

3.4 Teor de beta-glicana, proteína e cinzas

O teor de beta-glicana no farelo de aveia e no concentrado de beta-glicana foi determinado com um método enzimático (Método 32-23, AACC 2000), usando o kit Megazyme BBG (Megazyme, Bray Business Park, Bray, Co. Wicklow, Ireland). O teor de proteínas e cinzas do concentrado foi determinado de acordo com os métodos 46-13, 08-01 da AACC.

3.5 Oxidação

A oxidação das amostras foi realizada segundo método descrito por Dias et al. (2007), utilizando peróxido de hidrogênio (H_2O_2). A reação ocorreu em um reator de vidro de capacidade de 4000 mL, sob agitação, com controle de temperatura e pH. A beta-glicana (70 g) foi dispersa em 2000 mL de água destilada, aquecida à 40 °C e adicionada de H_2O_2 , em três concentrações (0,3%, 0,6% e 0,9% de H_2O_2), com 30 e 60 minutos de reação, com utilização de $FeSO_4$ como catalisador. O pH foi mantido em 5,0 com uso de soluções de ácido clorídrico e hidróxido de sódio 0,1N. Ao final do processo, foi adicionado etanol 96% na proporção 1:1 para precipitação da beta-glicana, que foi seca em estufa com circulação forçada de ar a 60 °C.

3.6 Análises da beta-glicana

3.6.1 Teor de carbonila

O teor de carbonila foi determinado segundo o método descrito por Smith (1967) para amido, com algumas modificações. Uma amostra de 0,5 g de beta-glicana foi dispersa em 100 mL de água destilada a 40 °C, ajustando-se o pH para 3,2 e adicionando-se 15 mL de solução de cloreto de hidroxilamina. A seguir, as amostras foram cobertas com filme plástico e levadas à estufa a 38 °C. Após 4 horas, as amostras foram tituladas com ácido clorídrico 0,1 M até pH 3,2.

O teor de carbonila foi expresso em quantidade de grupos carbonilas por 100 unidades de glicose (CO/100GU) e calculado através da equação:

$$\% \text{ COH} = \frac{(\text{Vpb} - \text{Vam}) \times \text{F} \times 0,028 \times 100}{\text{Peso da amostra (b.s.)}}$$

Onde: Vpb = volume de HCl gasto na titulação da prova em branco

Vam = volume de HCl gasto na titulação da amostra

F = normalidade do HCl

O preparo da solução de hidroxilamina foi realizado 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. A solução foi preparada no dia da análise.

3.6.2 Teor de carboxila

O teor de carboxila foi determinado segundo método descrito por Parovuori et al. (1995) para amido, com modificações. Uma amostra de 0,5 g de beta-glicana foi dispersa em 150 mL de água destilada, ficando em banho-maria a 90 °C por 30 minutos e em seguida procedeu-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:

$$\% \text{ COOH} = \frac{(\text{Vam} - \text{Vpb}) \times \text{F} \times 0,045 \times 100}{\text{Peso da amostra (b.s.)}}$$

Onde: Vpb = volume de NaOH gasto na titulação da prova em branco

Vam = volume de NaOH gasto na titulação da amostra

F = normalidade do NaOH

3.6.3 Poder de intumescimento

O poder de intumescimento foi determinado segundo método descrito por Bae et al. (2009). Foram utilizados 0,3 g de amostra, misturados a 10 mL de água destilada em tubos de centrífuga e colocados em banho-maria a 70 °C sob agitação durante 10 minutos e então transferidos a um banho de água fervente por mais 10 minutos. Em seguida, os tubos foram resfriados em água corrente por 5 minutos e centrifugados a 1700 g durante 4 minutos. Poder de intumescimento foi expresso pela razão entre peso do sedimento úmido e peso da amostra seca.

3.6.4 Capacidade de ligação com gordura

A capacidade de ligação com gordura foi determinada segundo método descrito por Lin e Humbert (1974). Uma amostra de 0,2 g de foi dispersa em 10 mL de óleo de soja em tubos de ensaio, permanecendo em temperatura ambiente durante 1 hora com agitação por 15 minutos. Após, foi realizada centrifugação a 1600 g durante 20 minutos, descartando-se o sobrenadante sendo o resíduo pesado. A absorção de gordura foi obtida pela quantidade de óleo retido sobre 1 g de amostra seca.

3.6.5 Capacidade de ligação com ácidos biliares

A capacidade de ligação da beta-glicana com ácidos biliares foi determinado por método colorimétrico proposto por Doubilet (1936). A solução de ácido cólico foi preparada com 200 mg de ácido cólico, adicionando-se 4,7 mL de NaOH 0,1 N e completando o volume para 200 mL com água destilada. Em tubo de ensaio, foi colocado 25 mg de beta-glicana, adicionado 10 mL de solução de ácido cólico e agitado durante 2 horas a 37 °C. Procedeu-se a filtração com filtro de seringa 0,2 µm. A uma alíquota de 1 mL do filtrado foi adicionado 1 mL de solução alcoólica de furfural 0,9 % e 5 mL de ácido sulfúrico 16 N, permanecendo em banho de gelo durante 5 minutos, seguido de banho a 70 °C durante 8 minutos, seguido de banho de gelo durante 2 minutos. A absorbância da solução foi medida a 490 nm.

3.6.6 Digestão química e glicose

A taxa de liberação de glicose foi determinada segundo método descrito por Rodríguez et al. (2008). Em 1 g de beta-glicana foi adicionado 50 mL de HCl 0,1 M, em pH 1,0-2,0, agitado a 30 rpm durante 1 hora a 37 °C, reproduzindo-se o comportamento gástrico. Após, o pH foi aumentado para 6.8–7.2 com 15 g/L de NaHCO₃, aumentando-se a rotação para 300 rpm a 37 °C, reproduzindo-se o comportamento duodenal. Após 15 minutos ocorre a separação em duas fases, sendo o sobrenadante analisado pelo método glicose-oxidase peroxidase (kit Glicose PAP Liquiform, da Labtest).

3.6.7 Geleificação

Para determinar a concentração mínima de amostra necessária para formar gel foi utilizado método de Sathe e Salunke (1981), com modificações. Foram utilizadas dispersões de 3, 6, 9, 12% de beta-glicana, em 10 mL de tampão fosfato 20 mM, pH 7,0 em tubos de ensaio. Os tubos foram aquecidos a 90 °C durante 1 hora, em seguida levados ao refrigerador, onde permaneceram durante 2 horas a 4 °C. Os níveis de concentração de amostra capazes de formar um gel firme foram aqueles em que os tubos foram invertidos e a amostra não caiu ou escorreu pelas paredes do tubo.

3.6.8 Textura dos géis

A textura dos géis foi determinada em texturômetro TA.XT.plus, utilizando o software *Exponent Stable Micro Systems*. Os géis foram preparados em uma concentração de 12% em 20 mL de tampão fosfato 20 mM, pH 7,0 em tubos de metal de 37 mm de diâmetro e 65 mm de altura. As amostras foram pré-aquecidas a 40 °C por 3 minutos, e em seguida foram transferidas para banho-maria a 90 °C onde permaneceram por 30 minutos, e resfriadas rapidamente. Os géis foram comprimidos em 50%, utilizando-se probe cilíndrico de 20 mm de diâmetro (P/20), velocidade de 1 mm/s, em temperatura ambiente. Os parâmetros de textura avaliados foram dureza, adesividade, coesividade e gomosidade do gel.

3.6.9 Viscosidade

A análise reológica dos géis de beta-glicana foi determinada utilizando um reômetro (modelo RS 150, Haake[®], Alemanha) com tensão controlada, no módulo linear. As amostras foram suspensas em água destilada, a uma concentração de 3% e aquecidas a 80 °C durante 3 horas com agitação, de acordo com Bae et al. (2009). Em seguida a suspensão foi resfriada a temperatura ambiente e armazenada durante 48 horas a 4°C. A viscosidade foi medida com a taxa de deformação variando entre 0,1 e 100 s⁻¹, a 25 °C. A geometria usada foi cilindro coaxial concêntrico DG41, com fenda de 5 mm.

3.7 Formulação e elaboração dos pães de queijo

Os pães de queijo foram formulados conforme Zavareze et al. (2009), com adição de beta-glicana em três concentrações 2, 3 e 4%, descontando-se da quantidade de amido de mandioca da formulação padrão. Foi utilizada a beta-glicana nativa e os tratamentos com 0,6 e 0,9% de peróxido de hidrogênio por 30 minutos. Na Tabela 3 está apresentada a formulação dos pães de queijo. Para elaboração da massa dos pães de queijo, o amido e a beta-glicana foram misturados por 1 minuto em batedeira elétrica. Em seguida, uma mistura em ebulição, composta por leite, óleo e sal foi adicionada e homogeneizada em batedeira elétrica durante um minuto, em velocidade baixa. A seguir, foram adicionados o queijo e o ovo e misturados até obter uma massa homogênea. A massa foi dividida em porções de 15 ± 0,5 g e moldadas manualmente em formato esférico. As unidades foram imediatamente levadas ao forno elétrico, a 210 °C por 20 minutos.

Tabela 3. Formulação dos pães de queijo.

Ingredientes	Tratamentos														
	Padrão	Nativa						Beta-glicana							
		2%	3%	4%	2%	3%	4%	0,6% H ₂ O ₂ / 30 min	2%	3%	4%	0,9 H ₂ O ₂ / 30 min	2%	3%	4%
Amido de mandioca (g)	100	93,85	90,77	87,70	93,85	90,77	87,70	87,70	93,85	90,77	87,70	93,85	90,77	87,70	87,70
Concentrado de beta-glicana (g)	0	6,15	9,23	12,30	6,15	9,23	12,30	12,30	6,15	9,23	12,30	6,15	9,23	12,30	12,30
Queijo (g)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Leite (mL)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Óleo (g)	13,33	13,33	13,33	13,33	13,33	13,33	13,33	13,33	13,33	13,33	13,33	13,33	13,33	13,33	13,33
Ovo (g)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Sal (g)	2,66	2,66	2,66	2,66	2,66	2,66	2,66	2,66	2,66	2,66	2,66	2,66	2,66	2,66	2,66

3.8 Análises dos pães de queijo

3.8.1 Propriedade de expansão dos pães de queijo

A propriedade de expansão dos pães de queijo foi avaliada através do volume específico (mL.g^{-1}), obtido pela razão entre o volume aparente (mL), determinado pelo deslocamento das sementes de painço, e a massa (g), após o forneamento (PIZZINATTO, MAGNO e CAMPAGNOLLI, 1993).

3.8.2 Textura dos pães de queijo

Os parâmetros de textura (firmeza e flexibilidade) dos pães de queijo foram avaliados, após 10 minutos de resfriamento, em temperatura ambiente, através de texturômetro (*Texture Analyser TA.XTplus, Stable Micro Systems*), utilizando probe cilíndrico de 75 mm de diâmetro. A amostra foi comprimida em 50% do seu tamanho original, com velocidade de 1 mm/s, mantendo a compressão por 30 segundos e retornando à posição inicial.

3.9 Estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Tuckey ao nível de 5% de significância.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Beta-glicana

4.1.1 Teor de beta-glicana, proteínas e cinzas

O farelo de aveia cultivar IAC-7 apresentou 12,36% de beta-glicana em base seca. O rendimento da extração de concentrado de beta-glicana ficou em torno de 8,24%. O concentrado apresentou 32,5% de beta-glicana, 8,55% de proteína, 1,5% de cinzas e 57,45% de carboidratos em base seca.

4.1.2 Carbonila e Carboxila

Os teores de carbonila e carboxila das amostras de beta-glicana após os tratamentos oxidativos foram avaliados. Na Tabela 4 estão apresentados os teores de carbonila, carboxila e o somatório (carbonila + carboxila) das amostras após o tratamento oxidativo.

Tabela 4. Percentual de carbonila, carboxila e somatório (carbonila + carboxila) da beta-glicana nativa e oxidada com peróxido de hidrogênio.

Tratamentos		Carbonila (% COH)	Carboxila (% COOH)	Somatório (% COH + % COOH)
H ₂ O ₂ (%)	Tempo (min)			
	Nativa	0,180 ± 0,030 ^c	0,168 ± 0,046 ^d	0,348 ^c
0,3	30	0,863 ± 0,061 ^b	0,342 ± 0,042 ^c	1,205 ^b
0,6	30	0,796 ± 0,184 ^b	0,429 ± 0,051 ^{bc}	1,225 ^b
0,9	30	2,833 ± 0,105 ^a	0,541 ± 0,048 ^{ab}	3,374 ^a
0,3	60	1,151 ± 0,067 ^b	0,526 ± 0,007 ^{ab}	1,677 ^b
0,6	60	2,680 ± 0,030 ^a	0,499 ± 0,027 ^{ab}	3,179 ^a
0,9	60	2,773 ± 0,266 ^a	0,574 ± 0,075 ^a	3,347 ^a

Média ± desvio padrão. Letras diferentes na mesma coluna diferem significativamente pelo teste de Tukey (p < 0,05).

Nos tratamentos mais intensos, 0,9% de H₂O₂/30 min, 0,6 e 0,9% de H₂O₂/60 min foram encontrados os maiores valores de carbonila. O conteúdo de carboxila foi maior nos tratamentos com 0,9% de H₂O₂/30 min e com 0,3, 0,6 e 0,9% de H₂O₂ por 60 minutos, verificando-se que aos 60 minutos o teor de carboxila manteve-se constante, independente da concentração de peróxido de hidrogênio, sugerindo que é possível realizar uma modificação mais intensa sem aumentar a concentração do oxidante.

Somando-se carbonila e carboxila, os maiores valores são observados nos tratamentos com 0,9% de H₂O₂/30 min, 0,6 e 0,9% de H₂O₂/60 min. Verifica-se que quanto mais intenso o tratamento oxidativo, maior a formação de grupamentos carbonila e carboxila (WANG e WANG, 2003). Esses resultados indicam que o

peróxido de hidrogênio promove mudanças na estrutura da beta-glicana, semelhante ao que ocorre com outros polímeros como quitosana e amido, podendo provocar quebra das ligações glicosídicas (QIN, DU e XIAO, 2002).

Segundo Sangseethong, Termvejsayanon e Sriroth, (2009), o tipo e a quantidade de grupos funcionais formados nas moléculas durante a oxidação é dependente do tempo de reação, da temperatura utilizada e pH durante a reação. Condições alcalinas favorecem a formação de grupos carboxila e meios ácidos favorecem a formação de grupos carbonila. Ainda de acordo com os autores, a reação com peróxido de hidrogênio é bastante rápida, não havendo muito aumento no teor de grupos carbonila e carboxila em tempo de reação superior a 30 minutos.

Neste estudo, a reação de oxidação ocorreu em condições de pH ácido (em torno de 5), ocorrendo maior formação de grupos carbonila. Os teores de carbonila e carboxila aos 30 e aos 60 minutos de reação não diferiram quando se utilizou 0,9 % de peróxido de hidrogênio, demonstrando que nessa concentração o aumento do tempo de reação não promove aumento de grupos carbonila e carboxila. Esses resultados estão de acordo com o estudo de Sangseethong, Termvejsayanon e Sriroth, (2009).

4.1.3 Poder de intumescimento

O poder de intumescimento da beta-glicana nativa e das amostras oxidadas está apresentado na Figura 3.

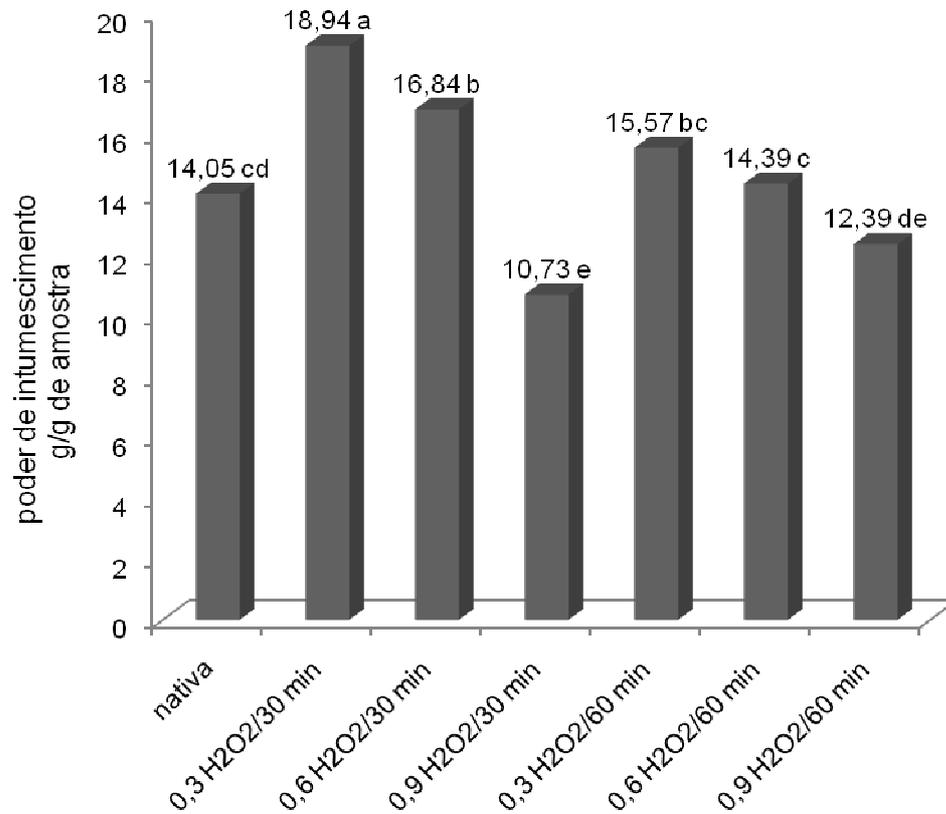


Figura 3. Poder de intumescimento da beta-glicana nativa e oxidada com peróxido de hidrogênio.

Letras diferentes entre as colunas diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

A beta-glicana nativa apresentou 14,05 g/g de poder de intumescimento, resultado semelhante a Bae et al. (2009) que encontraram valores de 15,12 g/g. Verifica-se que há um aumento no poder de intumescimento nos tratamentos 0,3 e 0,6% de H₂O₂/30 min, sendo que o maior valor (18,94 g/g) foi encontrado no tratamento 0,3% de H₂O₂/30 min. Porém o poder de intumescimento volta a diminuir quando passa-se a utilizar 0,9% de H₂O₂/30 min e em todos os tratamentos em que utilizou-se 60 minutos de reação, indicando uma maior quebra das ligações glicosídicas, impedindo uma maior retenção de água.

Em amido, tratamentos oxidativos de baixa intensidade podem promover aumento do poder de intumescimento, pois não causam uma despolimerização da molécula muito acentuada (KUAKPETOON e WANG, 2008). No entanto, os tratamentos mais intensos podem provocar desintegração estrutural da molécula e diminuir o poder de intumescimento (SANDHU et al., 2008). Bae et al. (2009)

também verificaram diminuição do poder de intumescimento da beta-glicana quando hidrolisaram parcialmente a molécula utilizando a enzima celulase, levando a diminuição do peso molecular.

Yoo et al. (2005) realizaram oxidação de quitosana com hipoclorito de sódio, com o intuito de aumentar a sua solubilidade em água e melhorar as suas propriedades fisiológicas em relação a diminuição do colesterol. Com o tratamento oxidativo a 25% houve aumento da solubilidade da molécula com oxidação, entretanto, este aumento não foi proporcional ao aumento do nível de oxidação, a solubilidade da quitosana diminuiu com 50% e 100% de oxidação. A solubilidade da molécula está relacionada com o poder de intumescimento, no presente estudo também foi verificado um aumento do poder de intumescimento da beta-glicana nos tratamentos de menor intensidade e uma diminuição nos mais intensos, indicando que a oxidação alterou a solubilidade da beta-glicana.

Além das propriedades fisiológicas, a absorção de água contribui para as características desejáveis de um alimento, ela está relacionada com a qualidade da textura de diversos alimentos, como sopas, molhos, produtos de panificação, produtos cárneos, proteínas vegetais extrusadas e outros, pois a absorção de água confere propriedades como consistência, espessamento, viscosidade e aderência aos alimentos (WANG et al., 2009).

4.1.4 Liberação de glicose após digestão química

A liberação de glicose após realização de digestão química *in vitro* da beta-glicana nativa e oxidada com peróxido de hidrogênio está apresentada na Figura 4.

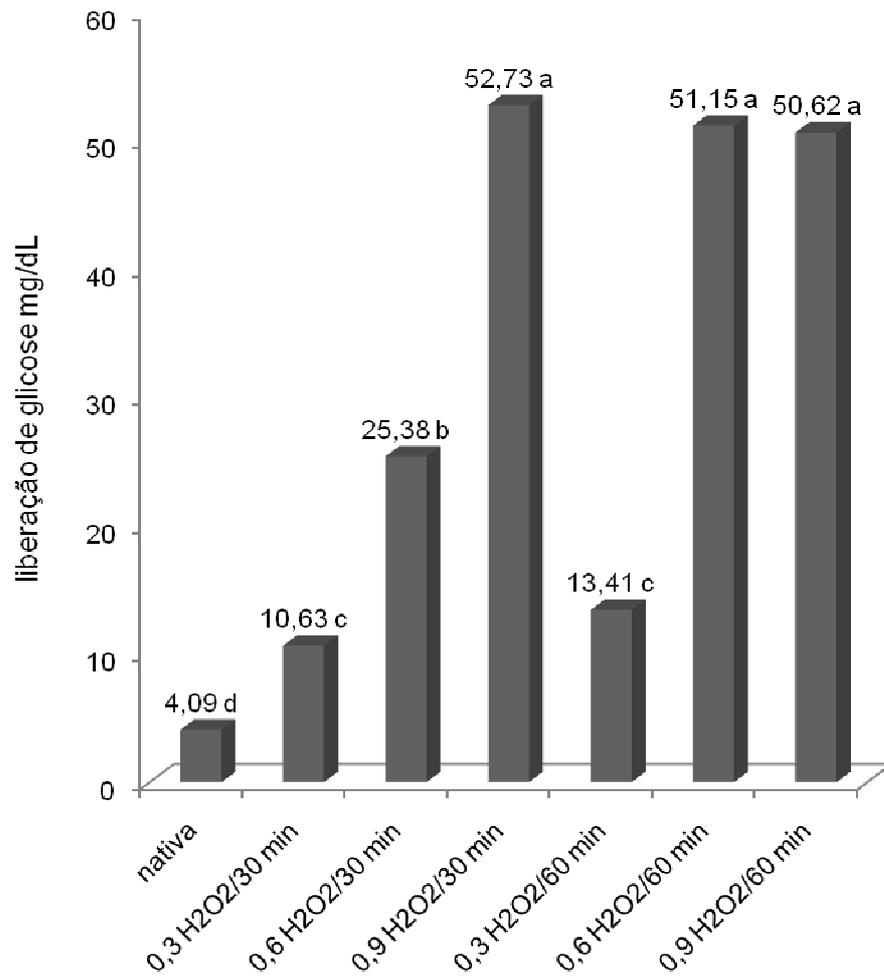


Figura 4. Liberação de glicose pela beta-glicana nativa e oxidada com peróxido de hidrogênio após digestão química.

Letras diferentes entre as colunas diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

A liberação de glicose pela beta-glicana após a digestão química aumentou de acordo com o aumento da intensidade dos tratamentos oxidativos. Esse aumento foi mais expressivo nos tratamentos com 0,9% de H₂O₂/30 min, 0,6% e 0,9% de H₂O₂/60 min, apresentando um aumento superior a 10 vezes, passando de 4,09 mg/dL na beta-glicana nativa para 52,73 mg/dL no tratamento 0,9% de H₂O₂/30 min. Isto provavelmente se deve à despolimerização da molécula provocada pela ação do peróxido de hidrogênio, da mesma forma que ocorre em outros polissacarídeos como amido, alginato e quitosana (TIAN et al., 2004; SANGSEETHON, TERMVEJSAYANON e SRIROTH, 2010; LI et al., 2010).

Com a despolimerização da molécula, aumenta a suscetibilidade da beta-glicana à ação química e, conseqüentemente, podendo levar a um aumento da glicemia pós-prandial. Esse resultado sugere que a beta-glicana oxidada, quando em contato com os ácidos estomacais, pode sofrer maior degradação e ocorrer uma diminuição da sua atividade biológica no intestino. De acordo com Lazaridou e Biliaderis (2007), uma significativa despolimerização da molécula no intestino delgado já foi confirmada através de estudos realizados com ratos e frangos em crescimento.

De acordo com Wood (2007), após sofrer hidrólise ácida, as fibras solúveis como goma guar e beta-glicana perdem viscosidade quando em solução, pela diminuição do peso molecular. Com essa diminuição da viscosidade podem ser observadas diferenças na resposta glicêmica.

4.1.5 Capacidade de ligação com gordura e ácidos biliares

Na Tabela 5 está apresentada a capacidade de ligação com gordura e com ácidos biliares da beta-glicana nativa e oxidada com peróxido de hidrogênio.

Tabela 5. Capacidade de ligação com gordura e com ácidos biliares da beta-glicana nativa e oxidada com peróxido de hidrogênio.

Tratamentos		Ligação com gordura (g óleo/g de amostra)	Ligação com ácidos biliares (%)
H ₂ O ₂ %	Tempo (min)		
Nativa		4,12 ^a	11,33 ^c
0,3	30	3,81 ^a	11,29 ^c
0,6	30	4,24 ^a	14,74 ^{ab}
0,9	30	3,77 ^a	16,05 ^a
0,3	60	3,99 ^a	13,16 ^{bc}
0,6	60	3,89 ^a	14,78 ^{ab}
0,9	60	3,98 ^a	14,36 ^{ab}

Letras diferentes na mesma coluna diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

A capacidade de ligação com gordura *in vitro* não sofreu variação significativa entre a beta-glicana nativa e as amostras oxidadas, apresentando uma média de ligação com gordura de 3,97 g óleo/g de amostra entre os tratamentos. Já no estudo *in vitro* realizado por Bae et al. (2009), utilizando beta-glicana hidrolisada com diferentes pesos moleculares, a taxa de ligação da fibra com gordura variou entre 3,9 e 11,4 g de óleo/g de amostra, sendo o valor de 3,9 g de óleo/g de amostra encontrado na beta-glicana sem hidrólise. No entanto, não houve uma correlação linear entre o aumento do tempo de reação e concentração de enzima e o aumento de ligação com gordura pela fibra, de acordo com os autores, determinados pesos moleculares promoveram maior ligação com gordura.

Apesar das alterações no poder de intumescimento e formação de grupos carbonila e carboxila na beta-glicana após os tratamentos oxidativos, não foi verificada relação dessas alterações com a absorção de gordura pela fibra. Estes resultados demonstram que a absorção de gordura é independente do poder de intumescimento e do teor de carbonila e carboxila na molécula.

Do ponto de vista tecnológico, a ligação com gordura é uma propriedade físico-química que contribui para as características desejáveis de um alimento. A absorção de gordura de um ingrediente é importante nas formulações de alimentos como produtos cárneos, lácteos e outros (WANG et al., 2009).

Ácidos biliares são formados no fígado a partir do colesterol. Estes podem se ligar com a beta-glicana no intestino, favorecendo uma maior eliminação de ácidos biliares nas fezes e reforçando a captação de colesterol da corrente sanguínea e do fígado para nova síntese de ácidos biliares, contribuindo para manter bons níveis de colesterol sanguíneo (BAE et al., 2009).

A capacidade de ligação com ácidos biliares *in vitro* aumentou nas amostras oxidadas passando de 11,33% na beta-glicana nativa para 16,05% no tratamento com 0,9% de H₂O₂/30 min, com exceção da amostra com tratamento oxidativo mais brando, 0,3% de H₂O₂/30 min (11,29%). Bae et al. (2009) utilizando concentrado de beta-glicana de aveia com 43% de pureza, encontraram valores de 13,1% de ligação da beta-glicana nativa com ácidos biliares, no entanto, após realizar a hidrólise houve grande variação nos valores, entre 6,4 e 26,5%. Segundo esses autores, há um conjunto de fatores que influenciam na capacidade de ligação da beta-glicana com ácidos biliares, tais como propriedades estruturais e físico-químicas e peso molecular. Yoo et al. (2005) também verificaram aumento de ligação com ácidos

biliares em ensaio *in vitro* com quitosana oxidada em determinadas concentrações de hipoclorito de sódio, pelo aumento da solubilidade da molécula, fator importante para promover ligação da fibra com ácidos biliares.

De acordo com Bae et al. (2009), o poder de intumescimento pode estar relacionado com a diminuição do colesterol por promover maior ligação com ácidos biliares. Entretanto, no presente estudo não foi verificada correlação entre o aumento do poder de intumescimento e aumento de ligação da fibra com ácidos biliares, sendo o maior valor de ligação com ácidos biliares (16,05%) encontrado no tratamento com 0,9% de H₂O₂/30 min, que apresentou o menor valor de poder de intumescimento (10,73 g/g de amostra). O maior valor de poder de intumescimento (18,94 g/g de amostra) foi do tratamento com 0,3% de H₂O₂/30 min, que apresentou o menor valor de ligação com ácidos biliares, 11,29%.

4.1.6 Textura dos géis

A concentração mínima de beta-glicana necessária para formar gel firme, que não caiu ou escorreu pelas paredes dos tubos ao serem invertidos foi de 12%. Essa concentração foi considerada adequada para realizar os testes de textura dos géis. Na Tabela 6 está o perfil de textura dos géis de beta-glicana.

Tabela 6. Perfil de textura da beta-glicana nativa e oxidada com peróxido de hidrogênio.

Tratamentos		Dureza (g)	Adesividade (g.s ⁻¹)	Coesividade	Gomosidade (g)
H ₂ O ₂ (%)	Tempo (min)				
Nativa		301,27 ^a	-1010,00 ^b	0,678 ^{ab}	204,07 ^a
0,3	30	332,66 ^a	-1119,11 ^a	0,735 ^a	214,60 ^a
0,6	30	311,18 ^a	-1039,88 ^{ab}	0,725 ^a	224,99 ^a
0,9	30	128,73 ^c	-512,26 ^d	0,714 ^{ab}	92,01 ^b
0,3	60	252,73 ^b	-886,54 ^c	0,750 ^a	189,68 ^a
0,6	60	154,71 ^c	-542,57 ^d	0,706 ^{ab}	109,20 ^b
0,9	60	166,21 ^c	-475,62 ^d	0,643 ^b	106,52 ^b

Letras diferentes na mesma coluna diferem significativamente pelo teste de Tukey (p<0,05).

A dureza representa a firmeza da estrutura do gel sob determinada compressão, e está relacionada também com a concentração do gel (LAU, TANG e PAULSON, 2000). A adesividade representa o trabalho necessário para remover a sonda compressora da amostra após a compressão, uma combinação da força coesiva e adesiva (HUANG et al., 2007). Coesividade é a medida do grau de dificuldade de quebrar a estrutura interna do gel (LAU, TANG e PAULSON, 2000), e gomosidade é considerada como a força necessária para desintegrar o material (KALVIAINEN, ROININEN e TUORILA, 2000).

Observa-se que os géis mantiveram, estatisticamente, semelhante dureza entre a beta-glicana nativa e os tratamentos com 0,3 e 0,6% de $H_2O_2/30$ min, sendo os valores mais baixos de dureza encontrados nos géis provenientes dos tratamentos oxidativos mais intensos, 0,9% de $H_2O_2/30$ min e 0,6 e 0,9% de $H_2O_2/60$ min. O mesmo ocorreu para os parâmetros gomosidade e adesividade, verificando-se diminuição com aumento da intensidade do tratamento oxidativo. Entretanto, para coesividade não ocorreu diferenças pronunciadas entre as amostras.

Tran, Piyachomkwan e Sriroth (2007) investigaram a dureza de géis com amido de mandioca comerciais nativo e modificados, em gel produzido com 3 gramas de amido disperso em 25 mL de água destilada. A amostra de amido oxidado apresentou 0,60% de grupos carboxila e 0,04% de grupos carbonila, de forma a indicar que foi realizado um tratamento oxidativo relativamente brando. No amido oxidado, os autores verificaram que o gel apresentou maior dureza em relação ao nativo. No presente estudo, as amostras de beta-glicana com tratamento oxidativo menos intenso, com 0,3 e 0,6% de $H_2O_2/30$ min, não apresentaram diferença significativa em comparação à beta-glicana nativa.

Um indicador de qualidade dos géis segundo Huang et al. (2007), é a alta razão adesividade/dureza. Em estudo com amido de arroz adicionado de goma gelana, carragena e glucomana, os autores obtiveram baixa dureza e alta adesividade, ou seja, alta razão adesividade/dureza, o que melhorou a textura do gel de amido de arroz. No presente estudo, os géis de beta-glicana oxidada apresentaram diminuição da dureza e também da adesividade. O tratamento com 0,9% de $H_2O_2/30$ min apresentou o maior valor para adesividade/dureza (Figura 5), e o menor foi observado no tratamento 0,9% de $H_2O_2/60$ min. Esses resultados sugerem que no tratamento 0,9% de $H_2O_2/30$ min, apesar de ter ocorrido diminuição da dureza e da adesividade, pode ter mantido boas características de gel, e, no

tratamento 0,9% de $H_2O_2/60$ min, com a mesma concentração de peróxido de hidrogênio, mas com aumento do tempo de reação, houve maior perda da qualidade de textura do gel de beta-glicana.

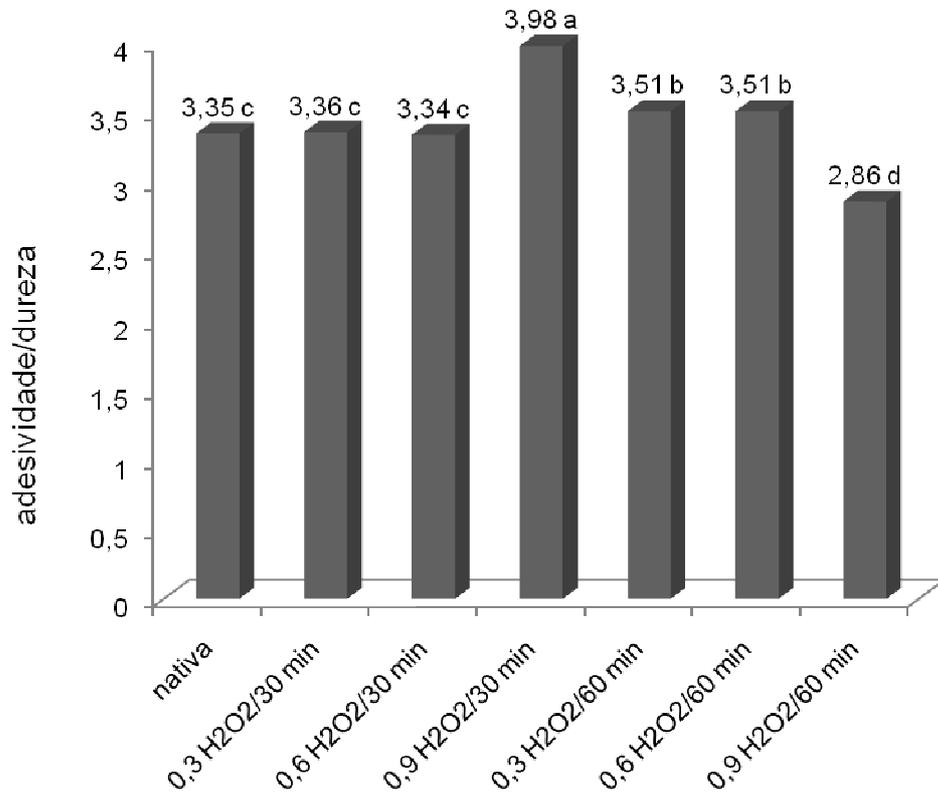


Figura 5. Razão adesividade/dureza dos géis de beta-glicana nativa e oxidada com peróxido de hidrogênio.

Letras diferentes entre as colunas diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

4.1.7 Viscosidade

A viscosidade dos géis de beta-glicana numa concentração de 3% foi medida em reômetro e é apresentada na Figura 6.

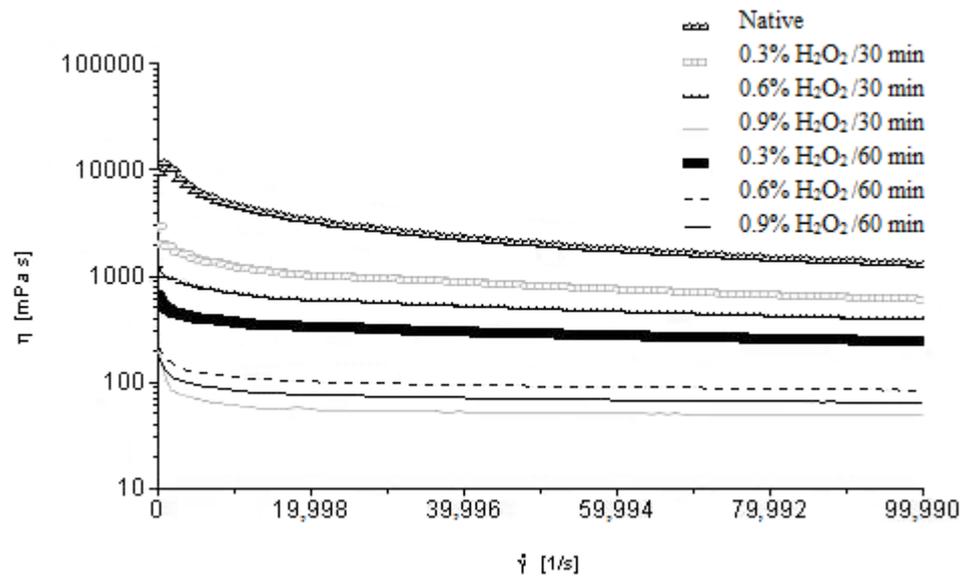


Figura 6. Viscosidade das amostras de beta-glicana em gel a 3% nativa e oxidada com peróxido de hidrogênio.

Johanson et al. (2007) afirma que os géis de beta-glicana apresentam comportamento típico de polissacarídeos, diminuindo a viscosidade rapidamente com o aumento da taxa de deformação, até atingir um platô, com valores que variam conforme a concentração do gel. Neste estudo os géis de beta-glicana apresentaram comportamento semelhante.

A viscosidade dos géis de beta-glicana oxidada sofreu variação significativa em relação à beta-glicana nativa. A viscosidade foi menor nas amostras que sofreram tratamentos oxidativos mais intensos, com 0,9% de $H_2O_2/30$ min e 0,6 e 0,9% de $H_2O_2/60$ min. O mesmo comportamento é observado em casos de hidrólise química ou enzimática da molécula, quanto maior a concentração de enzima, agente químico e o tempo de reação, menor a viscosidade final do gel em função do aumento da despolimerização (JOHANSON et al., 2007; BAE et al., 2009).

As propriedades reológicas da beta-glicana proveniente de cereais podem mudar dependendo das suas características moleculares (como peso molecular e estrutura), do tempo de armazenamento, do tempo de espera que antecede as análises e dos tratamentos térmicos realizados anteriormente (LAZARIDOU e BILIADERIS, 2007). Portanto, as alterações na estrutura da molécula causadas pela oxidação com peróxido de hidrogênio, como aumento dos grupos carbonila e carboxila, provável hidrólise da molécula e diminuição do poder de intumescimento

nos tratamentos mais intensos, são as possíveis causas das mudanças ocorridas na viscosidade dos géis de beta-glicana.

Para Kivelä et al. (2009) a molécula de beta-glicana é instável, e a viscosidade é altamente dependente do peso molecular. Os mesmos autores realizaram um trabalho com adição de ácido ascórbico, ácido málico ou ácido cítrico a um extrato de beta-glicana para verificar sua estabilidade na produção de bebidas. O ácido ascórbico promoveu drástica redução na viscosidade do extrato de beta-glicana, enquanto os ácidos málico e cítrico não afetaram a viscosidade do extrato de beta-glicana em condições semelhantes. A adição de 10 µM de ácido ascórbico promoveu a redução de 65% da viscosidade imediatamente após sua adição e 90% após duas horas.

De acordo com Bae et al. (2009), a viscosidade das fibras dietéticas retarda a digestão e absorção de nutrientes tais como amido, proteínas, lipídios e seus hidrolisados digestivos. As fibras são intumescidas e hidratadas no intestino delgado, aumentando a viscosidade intestinal e, de acordo com estes autores, a diminuição da viscosidade pode afetar as propriedades biológicas da beta-glicana.

4.2 Aplicação de beta-glicana em pão de queijo

4.2.1 Propriedade de expansão dos pães de queijo

A expansão dos pães de queijo foi verificada através do volume específico após o forneamento. Na Tabela 7 estão apresentados os valores de volume específico dos pães de queijo.

Tabela 7. Volume específico dos pães de queijo com beta-glicana nativa e oxidada com peróxido de hidrogênio após forneamento.

Tratamento	% de beta-glicana na formulação	Volume específico (mL.g ⁻¹)
Padrão	0	2,68 ^a
Nativa	2	2,58 ^{ab}
Nativa	3	2,01 ^{cd}
Nativa	4	2,82 ^a
0,6% de H ₂ O ₂ /30 min	2	2,13 ^{cd}
0,6% de H ₂ O ₂ /30 min	3	2,20 ^{bc}
0,6% de H ₂ O ₂ /30 min	4	1,97 ^{cd}
0,9% de H ₂ O ₂ /30 min	2	2,06 ^{cd}
0,9% de H ₂ O ₂ /30 min	3	2,11 ^{cd}
0,9% de H ₂ O ₂ /30 min	4	1,77 ^d

Letras diferentes na mesma coluna diferem significativamente pelo teste de Tukey (p<0,05).

Pelos resultados expostos na Tabela 7, é possível observar que a adição de beta-glicana com tratamentos oxidativos aos pães de queijo diminui o volume específico, promovendo menor expansão. O maior volume específico foi observado nos tratamentos com beta-glicana nativa a 4%, no padrão (sem beta-glicana) e no tratamento com beta-glicana nativa a 2%. Os pães de queijo adicionados de beta-glicana oxidada apresentaram volume específico menor do que os elaborados com beta-glicana nativa a 2 e 4% e a formulação padrão com amido de mandioca.

De acordo com Machado e Pereira (2010), o índice de expansão é altamente dependente da velocidade de gelatinização do amido, o qual está diretamente correlacionado com a quantidade de água disponível. Os pães de queijo de melhor qualidade são aqueles que, entre outras características, possuem o maior índice de expansão.

Em geral, com a adição de fibras em produtos de panificação ocorre diminuição do volume, o que não ocorreu neste estudo para os tratamentos com adição de beta-glicana nativa a 2 e 4%. De acordo com Montenegro et al. (2008) e Skendi et al. (2010), a diminuição do volume se deve a dois motivos, o primeiro é que a beta-glicana provoca alterações na estrutura enfraquecendo-a, e o segundo

que, pela sua grande capacidade de absorção de água ela evita a perda de vapor gerado, causando redução do volume e aumentando a firmeza da casca.

Montenegro et al. (2008) fabricaram biscoitos de polvilho com maior teor de fibras pela adição de farelo de trigo e polidextrose, e observaram uma diminuição do volume específico com o aumento concomitante das duas fontes de fibras. No entanto, com até 2% de farelo de trigo é possível utilizar a polidextrose em qualquer porcentagem, obtendo-se bons resultados quanto ao volume específico dos biscoitos, além de boa aceitação sensorial.

Skendi et al. (2010) utilizaram beta-glicana com diferentes pesos moleculares na formulação de pães em diferentes proporções. A adição de beta-glicana causou efeitos variáveis no volume específico dos pães de queijo. Nas formulações em que foi usado beta-glicana com menor peso molecular houve maior diminuição do volume específico em relação ao controle sem beta-glicana, e a beta-glicana com maior peso molecular promoveu maior volume específico dos pães de queijo, exceto na concentração máxima utilizada pelos autores, 1,4%.

4.2.2 Textura dos pães de queijo

Na Tabela 8 estão os valores para os parâmetros de textura, firmeza e flexibilidade, avaliados nos pães de queijo com adição de beta-glicana nativa e oxidada. A firmeza é um parâmetro de textura que corresponde à força aplicada para ocasionar deformação da amostra avaliada em texturômetro e está correlacionada com a mordida humana durante a mastigação dos alimentos. A flexibilidade corresponde à capacidade da amostra em retornar ao seu tamanho original após compressão (ZAVAREZE et al., 2009).

Tabela 8. Textura dos pães de queijo com beta-glicana nativa e oxidada com peróxido de hidrogênio.

Tratamento	% de beta-glicana na formulação	Firmeza (g)	Flexibilidade (%)
Padrão	0	1350,57 ^{def}	37,27 ^{abc}
Nativa	2	1052,16 ^f	41,74 ^a
Nativa	3	1500,95 ^{de}	37,38 ^{abc}
Nativa	4	2420,14 ^a	38,18 ^{abc}
0,6% de H ₂ O ₂ /30 min	2	1546,87 ^{bcd}	39,53 ^{ab}
0,6% de H ₂ O ₂ /30 min	3	1953,20 ^b	37,54 ^{abc}
0,6% de H ₂ O ₂ /30 min	4	2772,61 ^a	37,00 ^{bc}
0,9% de H ₂ O ₂ /30 min	2	1782,81 ^{bc}	34,27 ^c
0,9% de H ₂ O ₂ /30 min	3	1310,28 ^{ef}	41,59 ^a
0,9% de H ₂ O ₂ /30 min	4	1749,99 ^{bcd}	35,80 ^{bc}

Letras diferentes na mesma coluna diferem significativamente pelo teste de Tukey (p<0,05).

A firmeza foi maior nos pães de queijo com beta-glicana nativa a 4% e beta-glicana oxidada com 0,6% de H₂O₂/30 min a 4%. Já o menor valor de firmeza foi encontrado nos pães de queijo com beta-glicana nativa a 2%, seguido dos pães de queijo com beta-glicana oxidada com 0,9% de H₂O₂/30 min a 3%, sendo estes tratamentos semelhantes estatisticamente ao padrão. Com exceção desses últimos dois tratamentos, em todas as formulações com beta-glicana, tanto a nativa quanto a oxidada, houve aumento da firmeza dos pães de queijo.

O aumento da firmeza dos pães de queijo provavelmente se deve a maior retenção de água promovida pela adição da beta-glicana, o que pode ter tornado a casca mais dura (SKENDI et al. 2010). O endurecimento da parte externa dos pães de queijo pode ter ocasionado maior resistência à pressão da sonda do texturômetro. Além de alterar a textura da casca, a beta-glicana, em determinadas concentrações, pode promover coloração mais escura e diminuição do volume no produto final (LAZARIDOU e BILIADERIS, 2007).

A flexibilidade dos pães de queijo não teve variação muito acentuada entre os tratamentos, sendo ligeiramente maior no tratamento com beta-glicana nativa a 2%, e o menor valor no tratamento com beta-glicana oxidada com 0,9% de H₂O₂/30

min a 2%. Portanto, a adição de beta-glicana nativa ou oxidada não afetou muito a flexibilidade dos pães de queijo, independentemente da porcentagem adicionada. A preservação da flexibilidade dos pães de queijo com a adição de beta-glicana pode ser devido à capacidade de reter umidade após o forneamento, sem provocar o ressecamento interno que os deixaria menos flexíveis.

4.2.3 Corte transversal dos pães de queijo

Por meio de um corte transversal nos pães de queijo foi possível visualizar a formação de alvéolos no interior destes. Na Figura 7 estão apresentados os cortes transversais dos pães de queijo formulados com amido de mandioca, beta-glicana nativa nas proporções de 2, 3 e 4%, com beta-glicana oxidada com 0,6% de $H_2O_2/30$ min nas proporções de 2, 3 e 4 % e com beta-glicana oxidada com 0,9% $H_2O_2/30$ min.

Pode-se observar que houve uma alteração na estrutura alveolar do interior dos pães de queijo em todos os tratamentos em que se utilizou beta-glicana, tanto a nativa quanto a oxidada, principalmente nos níveis de 4%. Os alvéolos ficaram menores e com a parede mais definida.

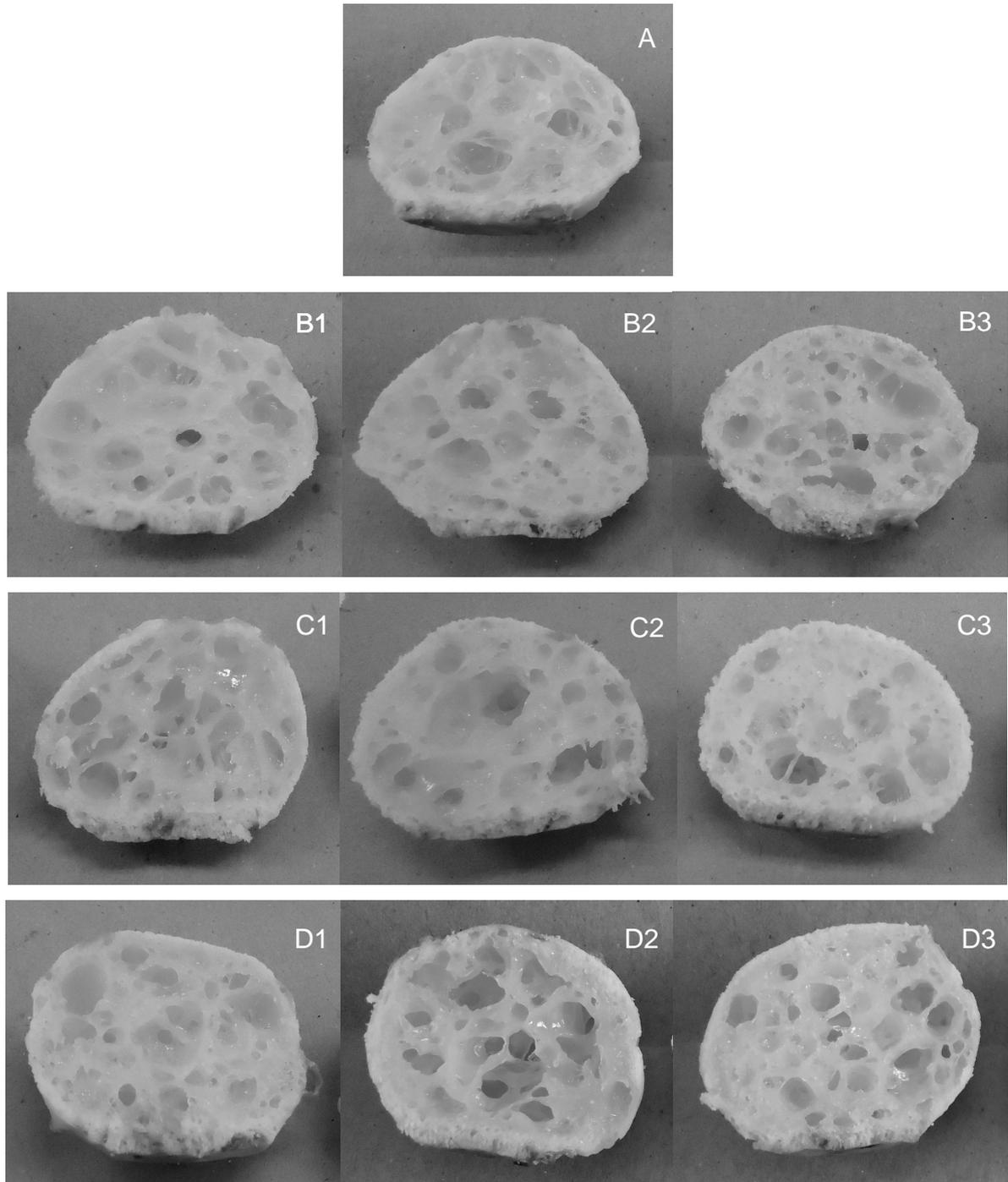


Figura 7. Corte transversal dos pães de queijo.

A: padrão, com amido de mandioca; B1, B2 e B3: beta-glicana nativa a 2, 3 e 4%; C1, C2 e C3: beta-glicana oxidada com 0,6% de $H_2O_2/30$ min a 2, 3 e 4%; D1, D2 e D3: beta-glicana oxidada 0,9% de $H_2O_2/30$ min a 2, 3 e 4%.

5 CONCLUSÕES

Os tratamentos oxidativos com peróxido de hidrogênio promovem mudanças nas características da beta-glicana extraída do farelo de aveia. A oxidação da molécula de beta-glicana promove aumento de grupos carbonila e carboxila, promove alterações no poder de intumescimento e aumento da capacidade de ligação da fibra com ácidos biliares, o que pode ser um indicativo de aumento de sua eficiência na redução de colesterol. A capacidade de ligação da beta-glicana com gordura *in vitro* não é alterada.

Os tratamentos oxidativos tornam a beta-glicana mais suscetível à digestão química, o que poderá acarretar em maior degradação da fibra, alterando suas propriedades e promovendo alterações indesejáveis na glicemia. Com os tratamentos oxidativos ocorre diminuição da dureza, adesividade e gomosidade do gel, bem como redução da viscosidade do gel.

O volume específico dos pães de queijo diminui com a adição de beta-glicana modificada. A firmeza dos pães de queijo aumenta com aumento do teor de beta-glicana, tanto a nativa quanto as oxidadas, com exceção dos tratamentos com beta-glicana nativa a 2% e oxidada com 0,9% de H₂O₂/30 min a 3%. A flexibilidade dos pães de queijo sofre variações pouco significativas, sendo ligeiramente maior com beta-glicana nativa a 2%.

Pelo exposto, torna-se necessário a realização de outros estudos sobre as propriedades tecnológicas da beta-glicana oxidada, como a sua estabilidade e funcionalidade na elaboração de outros produtos alimentícios, assim como, das suas propriedades biológicas de redução de colesterol e efeito na glicemia através de estudo *in vivo*.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHMAD, A.; ANJUM, F. M.; ZAHOOR, T.; NAWAZ, H.; AHMED, Z. Extraction and characterization of β -d-glucan from oat for industrial utilization. **International Journal of Biological Macromolecules**, 46, 304–309, 2010.
- ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Alimentos com Alegações de Propriedades Funcionais e ou de Saúde, Novos Alimentos/Ingredientes, Substâncias Bioativas e Probióticos IX - Lista de alegações de propriedade funcional aprovadas. 2008. Disponível em: http://www.anvisa.gov.br/alimentos/comissoes/tecno_lista_alega.htm. Acesso em: 8 de outubro de 2010.
- American Association of Cereal Chemists. 2000. Approved Methods of the AACC, 10th ed. Methods 32-23; 46-13; 08-01. The Association: St. Paul, MN.
- BAE, I. Y.; LEE, S.; KIM, S. M.; LEE, H. G. Effect of partially hydrolyzed oat β -glucan on the weight gain and lipid profile of mice. **Food Hydrocolloids**, 23, 2016–2021, 2009.
- BEHALL, K. M.; SCHOLFIELD, D. J.; HALLFRISCH, J. G.; LILJEBERG-ELMSTÅHL, H. G. M. Consumption of both resistant starch and β -glucan improves postprandial plasma glucose and insulin in women. **Diabetes Care**, 29, 976–981, 2006.
- 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**, 42, 1–13, 2005.
- BURKUS, Z.; TEMELLI, F. Rheological properties of barley β -glucan. **Carbohydrate Polymers**, 59, 459–465, 2005.
- 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**, 26, 369-379, abr.-jun., 2006.
- CHILLO, S.; RANAWANA, D. V.; PRATT, M.; HENRY, C. J. K. Glycemic response and glycemic index of semolina spaghetti enriched with barley β -glucan. **Nutrition**, (2010), doi:10.1016/j.nut.2010.07.003.
- CLEARY, L. J.; ANDERSSON, R.; BRENNAN, C. S. The behaviour and susceptibility to degradation of high and low molecular weight barley β -glucan in wheat bread during baking and in vitro digestion. **Food Chemistry**, 102, 889–897, 2007.
- DELANEY, B.; NICOLOSI, R. J.; WILSON, T. A.; CARLSON, T.; FRAZER, S.; ZHENG, G.; HESS, R.; OSTERGREN, K.; HAWORTH, J.; KNUTSON, N. β -

- glucan fractions from barley and oats are similarly antiatherogenic in hypercholesterolemic syrian golden hamsters. **Journal of Nutrition**, 133: 468–495, 2003.
- DIAS, A. R. G.; ELIAS, M. C.; OLIVEIRA, M.; HELBIG, E. Oxidação dos amidos de mandioca e de milho comum fermentados: desenvolvimento da propriedade de expansão. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. Campinas, 27(4), 794-799, 2007.
- DONGOWSKI, G.; DRZIKOVA, B.; SENGE, B.; BLOCHWITZ, R.; GEBHARDT, E.; HABEL, A. Rheological behaviour of b-glucan preparations from oat products. **Food Chemistry**, 93, 279–291, 2005.
- DOUBILET, H. Differential quantitative analysis of bile acids in bile and in duodenal drainage. **The Journal of Biological Chemistry**, v. 114, n. 1, 289-308, 1936.
- DROZDOWSKI, L. A.; REIMER, R. A.; TEMELLI, F.; BELL, R. C.; VASANTHAN, T.; THOMSON, A. B. R. β -Glucan extracts inhibit the in vitro intestinal uptake of long-chain fatty acids and cholesterol and down-regulate genes involved in lipogenesis and lipid transport in rats. **Journal of Nutritional Biochemistry**, Volume 21, Issue 8, Pages 695-701, 2009.
- FDA - Food and Drug Administration. Office of Nutritional Products, Labeling and Dietary Supplements (hfs-800). 5100 Paint Branch Parkway, College Park, MD 20740. Petition for health claim: Barley betafiber and coronary heart disease. January 27, 2006. Disponível em: <http://www.fda.gov/ohrms/dockets/dockets/06p0393/06p-0393-cp00001-002-vol1.pdf>.
- FRANK, J.; SUNDBERG, B.; KAMAL-ELDIN, A.; VESSBY, B.; AMAN, P. Yeast leavened oat breads with high or low molecular b-glucan do not differ in the effects on blood concentrations of lipid, insulin, or glucose in humans. **Journal of Nutrition**, 134, 1384–1388, 2004.
- FUJITA, A. H.; FIGUEROA, M. O. R. Composição centesimal e teor de β -glucanas em cereais e derivados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, 23(2):116-120, 2003.
- HOODA, S.; MATTE, J. J.; VASANTHAN, T.; ZIJLSTRA, R. T. Dietary oat b-glucan reduces peak net glucose flux and insulin production and modulates plasma incretin in portal-vein catheterized grower pigs. **The Journal of Nutrition**, 140: 1564–1569, 2010.

- HUANG, M.; KENNEDY, J. F.; LI, B.; XU, X.; XIE, B. J. Characters of rice starch gel modified by gellan, carrageenan, and glucomannan: A texture profile analysis study. **Carbohydrate Polymers**, 69, 411–418, 2007.
- JOHANSSON, L.; TUOMAINEN, P.; ANTTILA, H.; RITA, H.; VIRKKI, L. Effect of processing on the extractability of oat β -glucan. **Food Chemistry**, 105, 1439–1445, 2007.
- JOHANSSON, L.; VIRKKI, L.; ANTTILA, H.; ESSELSTRÖM, H.; TUOMAINEN, P.; SONTAG-STROHM, T. Hydrolysis of β -glucan. **Food Chemistry**, 97, 71–79, 2006.
- KALVIAINEN, N.; ROININEN, K.; TUORILA, H. Sensory characterization of texture and flavor of high viscosity gels made with different thickeners. **Journal of Texture Studies**, v. 31, n. 4, p. 407-420, 2000.
- KIVELÄ, R.; NYSTRÖM, L.; SALOVAARA, H.; SONTAG-STROHM, T. Role of oxidative cleavage and acid hydrolysis of oat beta-glucan in modeled beverage conditions. **Journal of Cereal Science**, 50, 190–197, 2009.
- KNUKLES, 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. 7, p. 599-604, 1997.
- KUAKPETOON, D.; WANG Y. Locations of hypochlorite oxidation in corn starches varying in amylose content. **Carbohydrate Research**. v. 343, p. 90–100, 2008.
- LAU, M. H.; TANG, J.; PAULSON, A. T. Texture profile and turbidity of gellan/gelatin mixed gels. **Food Research International**, 33, 665-671, 2000.
- LAZARIDOU, A.; BILIADERIS, C. G. Molecular aspects of cereal β -glucan functionality: Physical properties, technological applications and physiological effects. **Journal of Cereal Science**, 46, 101–118, 2007.
- LI, X.; XU, A.; XIE, H.; YU, W.; XIE, W.; MA, X. Preparation of low molecular weight alginate by hydrogen peroxide depolymerization for tissue engineering. **Carbohydrate Polymers**, 79, 660–664, 2010.
- LIATIS, S.; TSAPOGAS, P.; CHALA, E.; DIMOSTHENOPOULOS, C.; KYRIAKOPOULOS, K.; KAPANTAIS, E.; KATSILAMBROS, N. The consumption of bread enriched with β -glucan reduces LDL-cholesterol and improves insulin resistance in patients with type 2 diabetes. **Diabetes & Metabolism**, 35, 115–120, 2009.

- LIN, M. J. Y., & HUMBERT, E. S. Certain functional properties of sunflower meal products. **Journal of Food Science**, 39, 368–370, 1974.
- LYLY, M.; SALMENKALLIO-MARTTILA, M.; SUORTTI, T.; AUTIO, K.; POUTANEN, K.; LÄHTEENMÄKI, L. The sensory characteristics and rheological properties of soups containing oat and barley β -glucan before and after freezing. **LWT**, 37, 749–761, 2004.
- MACHADO, A. V.; PEREIRA, J. Efeito do escaldamento nas propriedades tecnológicas e reológicas da massa e do pão de queijo. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, n. 2, p. 421-427, mar./abr., 2010.
- MALKKI, Y.; VIRTANEN, E. Gastrointestinal effects of oat bran and oat gum - A Review. **LWT**, 34, 337-347, 2001.
- MIRA, G. S.; GRAF, H.; CÂNDIDO, L. M. B. Visão retrospectiva em fibras alimentares com ênfase em beta-glucanas no tratamento do diabetes. **Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences**, vol. 45, n. 1, jan./mar., 2009.
- MONTENEGRO, F. M.; GOMES-RUFFI, C. R.; VICENTE, C. A.; COLLARES-QUEIROZ, F. P.; STEEL, C. J. Biscoitos de polvilho azedo enriquecidos com fibras solúveis e insolúveis. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, 28(Supl.): 184-191, dez. 2008.
- OLIVEIRA, M. B. B.; MORAES, P. C. B. T. Elaboração e aceitabilidade de pão de queijo enriquecido com ômega-3. **Boletim do CEPPA**, v. 27, n. 2, p. 231-240, jul./dez. 2009.
- PAROVUORI, P., HAMUNEN, A., FORSSEL, P., AUTIO, K. POUTANEN, K. Oxidation of potato starch by hydrogen peroxide. **Starch/Stärke**, Weinheim, v.43, p.19-23, 1995.
- PIÑERO, M. P.; PARRA, K.; HUERTA-LEIDENZ, N.; MORENO, L. A.; FERRER, M.; ARAUJO, S.; BARBOZA, Y. Effect of oat's soluble fibre (β -glucan) as a fat replacer on physical, chemical, microbiological and sensory properties of low-fat beef patties. **Meat Science**, 80, 675–680, 2008.
- PIZZINATTO, A.; MAGNO, C. P. R.; CAMPAGNOLLI, D. M. F. **Avaliação tecnológica de produtos derivados da farinha de trigo (pão, macarrão, biscoitos)**. Campinas: Centro de Tecnologia de Farinhas e Panificação; Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL), 1993. 54 p.

- QIN, C. Q.; DU, Y. M.; XIAO, L. Effect of hydrogen peroxide treatment on the molecular weight and structure of chitosan. **Polymer Degradation and Stability**, 76, 211–218, 2002.
- RODRIGUEZ, M. S.; MONTERO, M.; STAFFOLO, M. D.; MARTINO, M.; BEVILACQUA, A.; ALBERTENGO, L. Chitosan influence on glucose and calcium availability from yogurt: In vitro comparative study with plants fibre. **Carbohydrate Polymers**, v. 74, p. 797–801, 2008.
- 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**, 41, 1000–1010, 2008.
- SANGSEETHONG, K.; TERMVEJSAYANON, N.; SRIROTH, K. Characterization of physicochemical properties of hypochlorite- and peroxide-oxidized cassava starches **Carbohydrate Polymers**, 82, 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.
- SINGH, J.; KAUR, L.; MCCARTHY, O. J. Factors influencing the physico-chemical, morphological, thermal and rheological properties of some chemically modified starches for food applications - A review. **Food Hydrocolloids**, 21, 1–22, 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**, 119, 1159–1167, 2010.
- SMITH, R. J. Characterization and analysis of starchs. In: WHISTLER, R. L.; PACHALL, U. F. **Starch: chemistry and tecnology**. New York: Academic Press. Characterization and analysis of starches, v. 2, p. 620-625, 1967.
- TIAN, F.; LIU, Y.; HU, K.; ZHAO, B. Study of the depolymerization behavior of chitosan by hydrogen peroxide. **Carbohydrate Polymers**, 57, 31–37, 2004.
- TOLVANEN, P.; MÄKI-ARVELA, P.; SOROKIN, A. B.; SALMI, T.; MURZIN, D. Y. Kinetics of starch oxidation using hydrogen peroxide as an environmentally friendly oxidant and an iron complex as a catalyst. **Chemical Engineering Journal**, v, 15 November 2009, Pages 52-59, 2009.
- TOSH, S. M.; WOOD, P. J.; WANG, Q.; WEISZ, J. Structural characteristics and rheological properties of partially hydrolyzed oat b-glucan: the effects of molecular weight and hydrolysis method. **Carbohydrate Polymers**, 55, 425–436, 2004.

- TRAN, T.; PIYACHOMKWAN, K.; SRIROTH, K. Gelatinization and thermal properties of modified cassava starches. **Starch/Stärke**, 59, 46–55, 2007.
- VASANTHAN, T.; TEMELLI, F. Grain fractionation technologies for cereal beta-glucan concentration. **Food Research International**, 41, 876–881, 2008.
- VOLIKAKIS, P.; BILIADERIS, C. G.; VAMVAKAS, C.; ZERFIRIDIS, G. K. Effects of a commercial oat- β -glucan concentrate on the chemical, physico-chemical and sensory attributes of a low-fat white-brined cheese product. **Food Research International**, 37, 83–94, 2004.
- WANG, S. H.; BATISTA, G. S.; NASCIMENTO, T. P.; NASCIMENTO, K. O.; NASCIMENTO, M. R. F. Efeitos dos parâmetros de extrusão na absorção de água e absorção de gordura de farinhas extrusadas de trigo e soja. **Alimentos e Nutrição**, v.20, n.4, p. 641-647, 2009.
- WANG, Y.; 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.
- WOOD, P. J. Cereal β -glucans in diet and health. **Journal of Cereal Science**, v. 46, p. 230-238, 2007.
- YOO, S.-H.; LEE, J.-S.; PARK, S. Y.; KIM, Y.-S.; CHANG, P.-S.; LEE, H. G. Effects of selective oxidation of chitosan on physical and biological properties. **International Journal of Biological Macromolecules**, 35, 27–31, 2005.
- ZAVAREZE, E. R.; STORCK, C. R.; PEREIRA, J. M.; GULARTE, M. A.; DIAS, A. R. G. Elaboração de pão de queijo com substituição do amido de mandioca por amido de batata-doce (*Ipomoea batatas*) submetido a diferentes processos de secagem. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 12, n. 1, p. 68-76, jan./mar. 2009.
- XU, X.; PU, Q.; HE, L.; NA, Y.; WU, F.; JIN, Z. Rheological and sem studies on the interaction between spent brewer's yeast β -glucans and k-carrageenan. **Journal of Texture Studies**, 40, 482–4, 2009.