

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
CURSO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS**

**ELABORAÇÃO E AVALIAÇÃO TECNOLÓGICA DE PÃES
SEM GLÚTEN ENRIQUECIDOS COM FARINHA DE GRILO (*Gryllus
assimilis*)**

Carolina da Rosa Machado

Porto Alegre
2018

Carolina da Rosa Machado

**ELABORAÇÃO E AVALIAÇÃO TECNOLÓGICA DE PÃES
SEM GLÚTEN ENRIQUECIDOS COM FARINHA DE GRILO (*Gryllus
assimilis*)**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado ao Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheira de Alimentos.

Orientadora: Profa. Dra. Roberta Cruz Silveira Thys

Porto Alegre
2018

Trabalho de Conclusão de Curso

**ELABORAÇÃO E AVALIAÇÃO TECNOLÓGICA DE PÃES
SEM GLÚTEN ENRIQUECIDOS COM FARINHA DE GRILO (*Gryllus
assimilis*)**

Carolina da Rosa Machado

Conceito final: ____

Aprovada em: ____ / ____ / ____

Prof^ª. Dr^ª. Roberta Cruz Silveira Thys
ICTA/UFRGS
Orientadora

Prof^ª. Dr^ª. Simone Hickmann Flôres
ICTA/UFRGS

Dr^ª. Carolina Fagundes Assumpção
ICTA/UFRGS

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Roberto e Suzel, e ao meu irmão Roberto, pelo apoio e amor incondicionais. Obrigada por sempre me incentivarem a ir além e me permitirem traçar os meus próprios caminhos, com a certeza de que sempre poderei me apoiar em uma base sólida. Tudo que sou eu devo a vocês!

À minha família e amigos (principalmente os "corajosos" que experimentaram os pães!), que entenderam a minha ausência nos últimos meses e sempre me receberam de braços abertos quando eu precisei de um descanso e momentos de distração.

To Mark, who was with me every step of this way: from encouraging me to start this project until carefully reading and correcting the article. Thank you for helping me see the bright side of everything and magically make all my worries disappear, life gets much easier with your love and support!

À minha gestora Mírian Calero, por toda a contribuição com o meu crescimento profissional, pela confiança depositada em mim e por sempre valorizar o meu trabalho.

Às minhas amigas de uma vida inteira, Giovanna e Marcela, que não mediram esforços e foram fundamentais para que eu conseguisse os grilos, esse trabalho nem teria começado sem a ajuda de vocês!

À minha orientadora Roberta Thys, por todo o entusiasmo e dedicação a este trabalho, pelas respostas rápidas e sempre esclarecedoras, e, principalmente, por ser uma grande educadora e exemplo de profissional.

Ao Tiago Feijó e à Biancka Pontes pela ajuda com as análises e produção dos pães.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul e ao Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos pelo ensino de qualidade e por fornecer a estrutura e materiais necessários para a realização deste trabalho.

“É preciso força pra sonhar e perceber
que a estrada vai além do que se vê”

Marcelo Camelo

RESUMO

Devido à crescente população mundial e recursos hídricos e terrestres escassos, é necessário encontrar formas de produção de alimentos alternativas e sustentáveis. O objetivo deste estudo foi caracterizar a farinha de grilo preto (*Gryllus assimilis*) desidratado e avaliar seus efeitos nas propriedades tecnológicas de pães sem glúten, em comparação com farinhas de lentilha e trigo sarraceno. Os principais componentes da farinha de grilo são proteína e lipídios (67,45% e 20,96%, respectivamente). A farinha de grilo apresentou altas capacidades de retenção de água e de óleo e características microbiológicas apropriadas para consumo humano. Sua inclusão resultou em pães sem glúten com conteúdo proteico e lipídico significativamente maior do que os demais. A adição de fontes proteicas afetou negativamente as propriedades de textura de todas as amostras, porém a remoção do óleo das formulações enriquecidas com farinha de grilo teve impactos positivos na textura dos pães. Os resultados encontrados neste estudo indicam que é possível produzir pães sem glúten de boa qualidade através do seu enriquecimento com farinha de grilo.

Palavras-chave: insetos comestíveis; sem glúten; pão; proteína; propriedades tecnológicas.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Gráfico - "Livres de": valor em vendas (2016) e crescimento (2016 - 2021).....	23
Figura 2: Gráfico - Alimentos sem glúten: valores em vendas globais de 2011 a 2016.....	24

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Composição Centesimal do Amido de Milho (em base úmida)	28
Tabela 2: Propriedades de amidos extraídos de 7 diferentes espécies de milho	28
Tabela 3: Composição Centesimal da Farinha de Arroz (em base úmida)	29
Tabela 4: Correlação entre as propriedades das proteínas e dos pães e as propriedades das massas	31

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	9
2. OBJETIVOS.....	11
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	12
3.1. Insetos Comestíveis.....	12
3.1.1. Propriedades Nutricionais	13
3.1.2. Aspectos Ambientais	14
3.1.3. Possíveis Perigos Relacionados ao Consumo de Insetos	16
3.1.4. Uso de Insetos na Alimentação Humana	18
3.1.5. Aspectos Legais.....	20
3.2. Mercado de Produtos Sem Glúten	21
3.2.1. Motivações para o Consumo de Produtos sem Glúten	21
3.2.2. Dados de Mercado	23
3.3. Panificação sem Glúten	24
3.3.1. Fontes Amiláceas.....	26
3.3.1.1. Amido de Milho	28
3.3.1.2. Farinha de Arroz	29
3.3.3. Fontes Proteicas	29
3.3.3.1. Insetos.....	31
3.3.3.2. Lentilha.....	33
3.3.3.3. Trigo Sarraceno	34
3.3.4. Hidrocoloides	35
3.3.5. Emulsificantes	36
4. ARTIGO.....	39
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	56
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57

1. INTRODUÇÃO

Considerando que a população mundial deverá alcançar 8,6 bilhões de pessoas em 2030 e 9,8 bilhões em 2050 (UNITED NATIONS, 2017), estima-se que será necessário praticamente dobrar a produção de alimentos atual para que seja possível alimentar a crescente população; em contrapartida, recursos hídricos e terrestres são escassos (VAN HUIS et al., 2013). Dessa forma, é necessário encontrar novas formas de produção de alimentos alternativas e sustentáveis.

É notável o aumento no interesse do mundo ocidental no uso de insetos comestíveis, tanto pela comunidade científica, com o aumento de estudos sobre este assunto, quanto por parte de empreendedores que apostam na produção e comercialização de produtos contendo insetos para alimentação animal e humana. Este aumento pode ser atribuído a um relatório publicado pela *Food and Agriculture Organization* (FAO) em 2013, que estimula o uso de insetos como uma nova e sustentável fonte proteica para humanos e animais, baseado principalmente em aspectos nutricionais e ambientais (HOUSE, 2018). Os principais componentes de insetos são proteínas (chegando a 77% em algumas espécies da ordem Orthoptera – grilos e gafanhotos) e gordura, seguidos por fibras e cinzas (RUMPOLD; SCHLÜTER, 2013). Além disso, insetos são uma boa fonte de aminoácidos essenciais e semi essenciais. De acordo com VAN HUIS e OONINCX (2017), as principais vantagens ambientais da criação de insetos em comparação com a pecuária são: a necessidade de menos terra e água, as emissões de gases de efeito estufa são menores, insetos apresentam maior eficiência de conversão em alimento, a capacidade de se alimentar de subprodutos orgânicos de baixo valor e o fato de que algumas espécies de insetos também podem ser utilizadas como ração animal.

O mercado de produtos sem glúten está em crescimento: é estimada uma taxa de crescimento anual composta de 7% entre 2016 e 2021, superior a qualquer outro tipo de produto da categoria dos “livres de” (EUROMONITOR INTERNATIONAL, 2017). Além de intolerâncias e alergias, este crescimento está fortemente relacionado à valorização por parte dos consumidores de práticas sustentáveis de produção de alimentos (orgânicos, não processados, produção local, não geneticamente modificados) e sua percepção de que alimentos sem glúten são mais saudáveis ou promotores de perda de peso (CHRISTOPH et al., 2018). De todos os produtos sem glúten atualmente disponíveis no mercado, os pães detêm a maior porção de valor em vendas, atingindo 1,2 bilhões de dólares em 2016 (EUROMONITOR INTERNATIONAL, 2017).

O enriquecimento de produtos sem glúten através da adição de fontes proteicas contribui para melhorar a viscosidade das massas e influencia na retenção e expansão das células de gás devido às suas propriedades espumantes e emulsionantes, resultando em efeitos positivos no volume e textura dos produtos obtidos (BRITES; SCHMIELE; STEEL, 2018; HORSTMANN; FOSCHIA; ARENDT, 2017). Além dos benefícios tecnológicos, a adição de proteínas de fontes livres de glúten tem importante papel nutricional e sensorial, reduzindo as deficiências em aminoácidos dos produtos sem glúten e melhorando sua cor e sabor (WANG et al., 2017; ZIOBRO et al., 2016). Diversos tipos de farinhas derivadas de cereais, pseudocereais, legumes, oleaginosas e frutas têm sido aplicadas como fontes proteicas em formulações sem glúten (DRABIŃSKA; ZIELIŃSKI; KRUPA-KOZAK, 2016). Estudos atuais têm obtido resultados positivos pela inclusão de insetos em produtos de panificação tradicionais, resultando em produtos com propriedades tecnológicas similares às de pães elaborados com farinha de trigo, porém nutricionalmente mais ricos e com boa aceitação sensorial (DE OLIVEIRA et al., 2017; GONZÁLEZ; GARZÓN; ROSELL, 2018; OSIMANI et al., 2018).

2. OBJETIVOS

Os objetivos deste estudo foram caracterizar a farinha produzida a partir de grilos pretos (*Gryllus assimilis*) desidratados através de análises físico-químicas e microbiológicas, e avaliar os efeitos da sua adição nas propriedades tecnológicas de pães sem glúten, em comparação com duas fontes proteicas amplamente utilizadas em formulações sem glúten: farinhas de legumes (lentilha - *Lens culinaris*) e de pseudocereais (trigo sarraceno - *Fagopyrum esculentum* Moench).

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Insetos Comestíveis

Insetos são animais invertebrados pertencentes à classe Insecta e filo Arthropoda e representam o maior grupo de animais do planeta, sendo estimada a existência de milhões de diferentes espécies. Atualmente, cerca de 2 bilhões de pessoas de 3071 grupos étnicos em 130 países consomem insetos regularmente (COSTA-NETO; DUNKEL, 2016 apud LIU; ZHAO, 2018). Um levantamento realizado por JONGEMA (2017) resultou na criação de uma lista contendo 2111 espécies de insetos comestíveis em todo o mundo pertencentes aos seguintes grupos de insetos: bezouros (31%), lagartas (17%), vespas, abelhas e formigas (15%), grilos e gafanhotos (13%), cigarras, percevejos, pulgões e cochonilha (11%) e outros (13%).

Apesar do consumo intencional de insetos ainda não ser uma prática recorrente em todo o mundo, principalmente nos países ocidentais, é reconhecido que seu consumo não intencional é praticamente inevitável. Este fato levou agências regulatórias de diversos países a estabelecerem limites aceitáveis de fragmentos de insetos em alimentos que não representem um risco à saúde humana. No Brasil, estes limites são determinados pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária através da Resolução da Diretoria Colegiada nº 14, de 28 de Março de 2014 (ANVISA, 2014).

No relatório “Perspectivas da População Mundial: Revisão de 2017” realizado pela Organização das Nações Unidas, estima-se que a população mundial alcance 8,6 bilhões de pessoas em 2030 e 9,8 bilhões em 2050 (UNITED NATIONS, 2017). Dado este cenário, estima-se que será necessário praticamente dobrar a produção de alimentos para alimentar a população em termos de água e terras agrícolas (VAN HUIS et al., 2013). E neste sentido, o uso de insetos como fonte de proteína e demais nutrientes essenciais à vida humana tem se mostrado uma alternativa viável e sustentável para ajudar a suprir a crescente demanda de alimentos pela população mundial.

Apesar da ideia de utilizar insetos como uma fonte de alimentos para humanos não ser completamente nova, observa-se um aumento no interesse em insetos comestíveis no mundo ocidental nos últimos anos, tanto por parte da comunidade, quanto de empreendedores que apostam na produção e comercialização de produtos contendo insetos para alimentação humana e animal. Este crescimento pode ser atribuído à publicação de um relatório pela FAO em 2013,

o qual incentiva o uso de insetos como uma nova e sustentável fonte de proteína para humanos e animais, baseando-se principalmente em aspectos nutricionais e ambientais (HOUSE, 2018).

3.1.1. Propriedades Nutricionais

A busca por novas fontes de alimentos é de grande importância não só pelo aumento populacional e o conseqüente aumento na demanda de alimentos, mas também pela busca de alternativas no combate à subnutrição, que ainda é responsável por aproximadamente metade das mortes de crianças abaixo de 5 anos de idade (FAO, 2015 apud OIBIOKPA et al., 2018).

A quantidade de nutrientes presentes em insetos varia consideravelmente ainda que dentro de um mesmo grupo, pois depende do seu estágio de vida, origem e alimentação (VAN HUIS et al., 2013). Além disso, a grande variedade de espécies torna ainda mais difícil o estabelecimento de valores médios de cada nutriente presente nestes animais. Em termos gerais, sabe-se que os insetos são ricos em proteínas e lipídios, além de conter uma considerável quantidade de fibras.

ZIELIŃSKA et al. (2015) avaliaram a composição nutricional de três espécies de insetos: *Tenebrio molitor* (tenébrios), *Schistocerca gregaria* (gafanhotos) e *Grylloides sigillatus* (grilos) e obtiveram valores médios de proteína de 52, 76 e 70%, respectivamente. Em relação ao teor de lipídios, as porcentagens encontradas foram de 24,7% em *Tenebrio molitor*, 12,97% em *Schistocerca gregaria* e 18,23% em *Grylloides sigillatus*. O conteúdo de fibras variou de 1,97% em *Tenebrio molitor* a 3,65% em *Grylloides sigillatus*. Também foram encontrados valores significativos de cinzas, indicando a presença de uma importante quantidade de minerais nas espécies analisadas: 3,62% em *Tenebrio molitor*, 3,33% em *Schistocerca gregaria* e 4,74% em *Grylloides sigillatus*. Estes valores estão de acordo com o obtido por RUMPOLD e SCHLÜTER (2013) ao compilar informações nutricionais encontradas na literatura de 236 espécies de insetos: as quantidades médias de proteínas nas diferentes espécies de insetos avaliadas variaram de 35,34% a 61,32%, alcançando 77,13% em algumas espécies, enquanto o valor médio de lipídios foi de 13,41 a 33,40%.

OIBIOKPA et al. (2018) avaliaram a qualidade de proteínas presentes em quatro espécies de insetos comestíveis na Nigéria: *Gryllus assimilis* (grilos), *Melanoplus foedus* (gafanhotos), *Macrotermes nigierensis* (cupins), e *Cirina forda* (lagartas). Este estudo demonstrou que insetos são uma boa fonte de aminoácidos essenciais como treonina, leucina, isoleucina, valina, fenilalanina e tirosina, além de aminoácidos semi-essenciais como histidina e arginina. Também foram avaliados neste estudo: taxa de eficiência proteica (PER), taxa de proteína

líquida (NPR), digestibilidade verdadeira (TD), utilização proteica líquida (NPU), valor biológico (BV) e o escore de aminoácidos corrigido pela digestibilidade (PDCAAS) através de um experimento com trinta e seis ratos jovens desmamados albinos e utilizando caseína como proteína de referência. Os resultados demonstram que grilos possuem qualidade proteica superior em comparação às demais espécies avaliadas, apresentando valores de PER, NPR e BV superiores aos da caseína, enquanto valores de NPU não apresentaram diferenças significativas entre nenhuma das fontes analisadas. Além disso, grilos obtiveram PDCAAS de 73%, confirmando seu alto valor nutricional. Mesmo apresentando resultados inferiores, as demais espécies de insetos analisadas também demonstraram um bom potencial como complemento alimentar por serem ricas em aminoácidos essenciais.

Apesar da grande variedade de insetos existentes e da dificuldade em generalizar seus valores nutricionais, evidências mostram que estes animais possuem interessantes propriedades nutricionais e podem representar uma nova fonte de alimento aos países ocidentais, principalmente devido ao alto valor e qualidade proteicos.

3.1.2. Aspectos Ambientais

Estima-se que a demanda por produtos cárneos aumente 75% até 2050 devido ao aumento populacional (VAN HUIS; OONINCX, 2017), porém sabe-se que não há disponibilidade de terras suficiente para suprir esta demanda a nível mundial. Além disso, a criação de animais para abate causa grandes impactos ambientais e contribui significativamente com mudanças climáticas. Estes impactos estão associados principalmente ao alto uso de recursos alimentícios para a alimentação animal, à fermentação entérica de gados e ao mau gerenciamento dos rejeitos gerados (SMETANA et al., 2016). Sendo assim, é de extrema importância a busca por fontes proteicas mais sustentáveis e economicamente viáveis.

O uso de insetos como fonte proteica tem se mostrado uma alternativa interessante para a substituição de produtos cárneos do ponto de vista ambiental. As maiores vantagens da criação de insetos em comparação com a pecuária são: a necessidade de menos terra e água, as emissões de gases de efeito estufa são menores, insetos apresentam maior eficiência de conversão em alimento, a capacidade de se alimentar de subprodutos orgânicos de baixo valor e o fato de que algumas espécies de insetos também podem ser utilizadas como ração animal (VAN HUIS; OONINCX, 2017).

A mais completa ferramenta para avaliação do impacto ambiental de bens e serviços é a avaliação do ciclo de vida (ACV), sendo usada para a maioria de produtos alimentícios e cadeias

de fornecimento, pois pode ser realizada desde o plantio até o consumo e depósito de resíduos de um certo produto (HALLORAN et al., 2016). Ainda são encontrados poucos estudos em relação aos impactos causados pela criação e processamento de insetos como fonte alimentícia, porém os estudos já realizados demonstram um menor impacto por parte dos insetos em relação a outras fontes proteicas tradicionais.

HALLORAN et al. (2017) realizaram a avaliação do ciclo de vida de um sistema de produção existente de duas espécies de grilos no nordeste da Tailândia: *Gryllus bimaculatus* (grilo de campo) e *Acheta domesticus* (grilo doméstico) em comparação com uma produção de frangos de corte da mesma região. Além disso, foi avaliado um possível sistema de produção futuro de grilos em maior escala, no qual a produção foi otimizada em relação à taxa de conversão alimentar. As categorias de impactos analisadas foram: alterações climáticas (potencial de aquecimento global), depleção do ozônio, toxicidade humana (efeitos cancerígenos e não cancerígenos), materiais particulados, radiação ionizante, formação fotoquímica de ozônio, acidificação, eutrofização terrestre e aquática, ecotoxicidade e depleção de recursos hídricos, minerais e renováveis. Foram utilizadas duas unidades funcionais: 1 kg de espécie comestível e 1 kg de proteína. Os resultados obtidos demonstram que os impactos ambientais relacionados à produção de frangos de corte são superiores àqueles relacionados à atual criação de insetos, com exceção à depleção de ozônio e de recursos para as duas unidades funcionais utilizadas. Quando avaliado o futuro sistema de produção de grilos otimizado, todas as categorias de impacto analisadas foram menores em relação à produção de frangos de corte. Para todos os casos avaliados, o processo de produção de alimento para os animais (grilos e frangos) foi responsável pela maior parte dos impactos ambientais, principalmente devido à produção de milho e o uso de terra para a produção de soja.

Outro estudo conduzido por SMETANA et al. (2016) realizou uma análise do ciclo de vida (ACV) baseado na criação e processamento industrial de larva de *Hermetia illucens* (mosca soldado negra) em comparação com produtos de referência disponíveis atualmente no mercado. A unidade funcional utilizada foi 1 kg de produto fresco pronto para consumo não embalado. A primeira análise realizada comparou a aplicação direta do inseto em pó, que contém aproximadamente 60% de proteínas, com a proteína do soro de leite em pó contendo quantidades similares de proteínas. A segunda análise comparou substitutos cárneos texturizados produzidos a partir de grãos de soja em pó e uma mistura de grãos de soja em pó com insetos em pó em comparação à carne de frango, todos com quantidades similares de umidade e proteínas. Os resultados mostraram que o impacto ambiental do uso do inseto em pó

foi no mínimo duas vezes menor quando comparado ao impacto causado pela produção de proteína de soro de leite. Em comparação com a carne de frango, o substituto cárneo produzido a partir de grãos de soja em pó apresentou resultados de três a quatro vezes mais positivos, enquanto aqueles produzidos a partir da mistura de grãos de soja em pó com inseto em pó se mostraram duas vezes mais ambientalmente amigáveis do que a produção de carne de frango. Os impactos gerados na criação e produção de insetos devem-se principalmente à fonte de alimentação destes animais e ao uso de energia necessário para sua produção e processamento, especialmente para a secagem dos insetos.

De forma geral, o uso de insetos como fonte proteica e de demais nutrientes para alimentação humana mostra-se favorável ecologicamente. Melhoras nas tecnologias de processamento e o uso de fontes mais ambientalmente amigáveis para a alimentação destes animais ainda podem contribuir para um melhor desempenho em relação aos impactos ambientais gerados para sua criação e processamento.

3.1.3. Possíveis Perigos Relacionados ao Consumo de Insetos

Assim como qualquer outro animal utilizado para consumo humano, os insetos podem representar ameaças à saúde, entre eles perigos físicos, toxinas, antinutrientes, alérgenos, parasitas, e contaminações microbiológicas. Estes perigos podem ser inerentes aos próprios insetos ou devido a contaminações oriundas da sua produção, preservação e condições de processamento (VAN HUIS; DUNKEL, 2016).

Diversos insetos possuem pelos, espinhos e ferrões que podem causar irritação ou engasgamento, enquanto alguns deles produzem venenos, toxinas ou mau cheiro como forma de proteção (LIU; ZHAO, 2018). Outros perigos químicos podem ser absorvidos e acumulados do ambiente ou durante o processamento, entre eles pesticidas, fertilizantes, antibióticos, sanificantes, metais pesados, entre outros (SUN-WATERHOUSE et al., 2016).

Contaminações microbiológicas são comuns em alimentos processados ou armazenados de forma inapropriada. Além disso, diferente de outros animais utilizados para alimentação humana, os insetos são consumidos com seu trato intestinal (LIU; ZHAO, 2018), o que requer ainda mais atenção com relação aos microrganismos patogênicos que podem estar presentes e os cuidados que devem ser tomados para evitar ou minimizar estes riscos a níveis aceitáveis para a saúde humana.

Para indivíduos sensíveis, insetos podem causar respostas imunológicas adversas. Alergias causadas pelo consumo de insetos podem ocorrer tanto devido à presença de alérgenos primários ou a reações cruzadas, sendo que esta última é mais comum (LIU; ZHAO, 2018). Insetos que possuem alérgenos de reatividade cruzada induzem respostas similares às aquelas associadas a frutos do mar e moluscos (AUERSWALD; LOPATA, 2005; YEN, 2010; BARRE et al., 2014 apud SUN-WATERHOUSE et al., 2016). Estudos demonstraram que pacientes alérgicos a camarão podem apresentar reações a insetos comestíveis como grilos (*Gryllus bimaculatus*) (SUN-WATERHOUSE et al., 2016) e tenébrio (*Tenebrio molitor*) (BROEKMAN et al., 2015). Além disso, pacientes que possuem alergias respiratórias provocadas, por exemplo, por ácaros e baratas, podem apresentar síndrome alérgica oral ao consumirem insetos (LIU; ZHAO, 2018). Dessa forma, a identificação e caracterização de potenciais alergênicos em alimentos contendo insetos é de extrema importância, visto que consumidores alérgicos se baseiam fortemente nas informações contidas nos rótulos dos produtos para evitar reações adversas (SUN-WATERHOUSE et al., 2016).

A escassez de estudos sobre os perigos relacionados ao uso de insetos como fonte de alimentação humana, possivelmente devido ao seu baixo consumo em países ocidentais, e o fato de que a maioria destes perigos está fortemente relacionada ao ambiente e condições de processamento dos animais, torna difícil a obtenção de uma conclusão generalizada a respeito da segurança destes como fonte de alimento.

POMA et al., (2017) analisaram os níveis de contaminantes orgânicos e metais em diversas espécies de insetos comestíveis (*Galleria mellonella*, *Locusta migratoria*, *Tenebrio molitor* e *Alphitobius diaperinus*) e diferentes alimentos produzidos a partir de insetos e comercializados na Bélgica (incluindo “almôndegas” de gafanhotos e vermes de búfalo, croquetes de grilos e “hambúrguer” de vermes de búfalo). Os resultados demonstraram que diversos compostos químicos podem se acumular em insetos, porém os níveis de contaminação foram relativamente baixos, sendo que a concentração dos componentes avaliados em insetos foi similar ou inferior à encontrada em produtos animais comumente consumidos, como carne, peixe e ovos.

GAO et al., (2018) reuniram dados a respeito de avaliações toxicológicas de 34 espécies de insetos comestíveis na China. Este estudo não encontrou toxicidade significativa em nenhum destes animais, sendo possível concluir que os insetos podem representar uma fonte de alimento segura para humanos.

GRABOWSKI e KLEIN (2017) avaliaram critérios de higiene em 38 produtos processados a base de insetos comprados na Alemanha e Holanda, provenientes da Europa ou Ásia e produzidos a partir de *Acheta domesticus*, *Locusta migratória*, *Oxya yezoensis*, *Alphitobius diaperinus*, *Tenebrio molitor*, *Bombyx mori*, *Omphisa fuscidentalis*, *Apis mellífera*, *Vespula flaviceps*, *Hermetia illucens* e *Musca domestica*. As análises microbiológicas realizadas incluíram contagem de salmonellae, *L. monocytogenes*, *E. coli*, *S. aureus* e *Bacillus cereus*. Nenhuma das amostras analisadas apresentou contaminação por salmonellae, *L. monocytogenes*, *E. coli* ou *S. aureus*, porém seis amostras apresentaram contaminação por *B. cereus*, sendo que duas delas excederam os limites estabelecidos pela Comunidade Europeia.

Mesmo face à grande variedade de perigos oriundos do consumo de insetos, todos eles podem ser evitados ou minimizados através do uso de boas práticas, como a criação em ambientes limpos, livres de micotoxinas, pesticidas ou metais pesados; realização de tratamento térmico adequado durante o processo de produção do alimento ou antes do consumo; inclusão de advertências nos rótulos a respeito de possíveis reações alérgicas; remoção de espinhos e outros perigos físicos; compra de insetos de produtores confiáveis e com produção especial para consumo humano, entre outros (VAN HUIS, 2016).

3.1.4. Uso de Insetos na Alimentação Humana

O consumo de insetos é uma prática comum e tradicional em diversos países da Ásia, África e América Central. Nos últimos anos, países europeus como Holanda e Bélgica têm tentado impulsionar o uso de insetos como fonte para alimentação humana nos demais países ocidentais. Em 2009, o governo holandês criou um plano estratégico para que o país se tornasse um líder mundial em produção e consumo sustentável de alimentos dentro de 15 anos (Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, 2009 apud HOUSE, 2018) e anunciou fundos de 6 milhões de euros para pesquisas nesta área (Rijksoverheid, 2010 apud HOUSE, 2018). Neste contexto, o projeto da WUR (Netherlands' Wageningen University and Research Centre) intitulado "Produção Sustentável de Proteínas de Insetos para Consumo Humano" foi premiado em 2010 com 1 milhão de euros. A partir de então, diversas pesquisas relacionadas ao consumo de insetos vêm sendo desenvolvidas pela instituição.

Nos Estados Unidos, a empresa "Chapul" foi a primeira a lançar produtos à base de proteína de insetos e desenvolveu a primeira farinha de grilos do mercado americano em 2012

(CROWLEY, 2018). Atualmente, barras e suplementos proteicos de diversos sabores também fazem parte do portfólio de produtos e são entregues em diversos países do mundo.

A padaria finlandesa “Fazer”, localizada em Helsinki, lançou o primeiro pão a base de insetos a ser comercializado no mundo. Os pães são produzidos a partir de farinha de grilos e foram lançados em novembro de 2017, logo após o país se unir a outros 5 países europeus (Reino Unido, Holanda, Bélgica, Áustria e Dinamarca) que permitem a criação e venda de insetos para fins alimentícios (CUDDY, 2017).

No Brasil, são comercializados por empresas como “Nutrinsecta” e “Safari”, insetos vivos e desidratados destinados exclusivamente ao consumo animal, sendo vendidos em pet shops e lojas agropecuárias (NUTRINSECTA, 2013; SAFARI INSETOS, 2018). A empresa Hakkuna está desenvolvendo farinha, barras de proteína e snacks proteicos à base de grilo e voltados à alimentação humana, porém a venda destes produtos ainda não foi iniciada devido a barreiras regulatórias (HAKKUNA, 2017).

AYIEKO et al. (2010) desenvolveram produtos alimentícios com inclusão de farinha de insetos utilizando métodos de cocção tradicionais com o objetivo de avaliar a sua aceitação entre funcionários e estudantes da universidade de Maseno, no Quênia. Foram testados seis produtos produzidos a partir de duas espécies de insetos: crackers de cupim (*Isoptera*) e de besouros-de-maio (*Ephemeroptera*), muffins de cupim e de besouros-de-maio, rolo de carne de besouros-de-maio e salsichas de cupim. Os crackers de cupim foram os produtos melhor avaliados, enquanto as salsichas de cupim obtiveram a menor aceitação. De forma geral, todos os produtos foram bem avaliados em relação ao sabor, odor, textura e aparência.

KIM et al., (2016) testaram o uso de duas espécies de insetos (tenébrios - *Tenebrio molitor* e bicho-da-seda - *Bombyx mori*) submetidos a três métodos de pré-tratamento sequenciais (moagem, desengorduramento e hidrólise ácida) para substituir 10% de carne de porco em uma emulsão cárnea para produção de salsichas. As composições centesimal e físico-química dos produtos formulados com farinhas de insetos, além de suas propriedades de textura, foram analisadas e comparadas com uma amostra controle. As salsichas preparadas com farinha de insetos apresentaram menor umidade e maior conteúdo de proteínas, além de maior conteúdo de lipídios para as amostras que não passaram pelo processo de desengorduramento. A adição de insetos também aumentou significativamente as quantidades de minerais nas emulsões cárneas. Todos os produtos apresentaram solubilidade proteica similar, rendimento superior e

textura mais firme do que a amostra controle. Sendo assim, os pesquisadores concluíram que farinhas de tenébrios e bicho-da-seda são ingredientes adequados para a substituição parcial de carne de porco na produção de emulsões cárneas sem grandes impactos nas propriedades nutricionais e tecnológicas dos produtos.

Os efeitos da inclusão de insetos em snacks de cereais extrusados foram analisados por AZZOLLINI et al. (2018). Foram testadas as inclusões de 0, 10 e 20% de farinha de tenébrios (*Tenebrio molitor*) e avaliados os efeitos na composição nutricional, microestrutura, textura e solubilidade dos produtos. Ao aumentar a porcentagem de farinha de tenébrios, o conteúdo proteico aumentou de 11,8 para 20,4% e o conteúdo de lipídios de 0,9 a 5,4%. Os snacks produzidos apenas com farinha de trigo apresentaram o menor conteúdo de proteína digestível líquida e este valor aumentou com o aumento da quantidade de farinha de inseto. A inclusão de 20% de farinha de tenébrios produziu snacks com baixas propriedades de expansão, enquanto pequenas diferenças foram observadas entre os produtos não enriquecidos e aqueles enriquecidos com 10% da farinha de tenébrio. Mudanças nas propriedades de textura foram observadas na mesma proporção: snacks enriquecidos a 20% foram os mais compactos, apresentando a maior força de compressão, menor frequência espacial de ruptura e a menor fraturabilidade, enquanto poucas diferenças foram percebidas entre as outras duas amostras testadas. Os resultados indicam que uma substituição de 10% de farinha de trigo por farinha de tenébrios em snacks extrusados pode ser utilizada para a obtenção de produtos de alta qualidade.

Além das aplicações citadas, foram encontrados estudos avaliando o uso de farinha de insetos em produtos de panificação, que serão abordados mais adiante.

3.1.5. Aspectos Legais

A falta de regulamentações precisas incluindo o uso de insetos como fonte de alimento em países ocidentais é uma das principais barreiras para o aumento desta prática e do desenvolvimento de novos produtos baseados nestes animais. Agências regulatórias de diversas partes do mundo, como a *European Food Safety Authority* (EFSA), *Food Standards Australia and New Zealand* (FSANZ), *Food and Drug Administration* (FDA) e *Health Canada* elaboraram revisões extensivas e discussões sobre regulações e diretrizes relacionadas ao uso de insetos comestíveis (SUN-WATERHOUSE et al., 2016).

Atualmente, na União Europeia, insetos podem ser vendidos em pequenas quantidades se produzidos especialmente para consumo humano, porém não devem ser processados para uso

como ingredientes. O uso de insetos para alimentação recai sobre o regulamento para novos alimentos – *European Novel Food Regulation*, no qual novos alimentos são considerados aqueles que não são consumidos em níveis significativos na União Europeia desde Maio de 1997 (EUROPEAN COMMISSION, 2015). Criadores de insetos para consumo humano foram solicitados a encaminhar um dossiê a respeito da segurança dos novos alimentos dentro de dois anos após a entrada em vigor do regulamento (MARBERG; VAN KRANENBURG; KORZILIUS, 2017).

Nos Estados Unidos, os insetos estão inseridos no *Food, Drug and Cosmetic Act*, podendo ser considerados como alimento se este for o seu uso pretendido. Insetos alimentícios devem ser criados especificamente para consumo humano seguindo as boas práticas de fabricação: os animais devem ser limpos e saudáveis (ou seja, livre de sujeiras, patógenos e toxinas), além de produzidos, embalados, estocados e transportados dentro de boas condições sanitárias, devendo ser rotulados com o nome científico do inseto (VAN HUIS, 2016).

No Brasil, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento disponibiliza uma lista de matérias-primas aprovadas para uso em alimentação animal, ainda não vinculada a nenhuma legislação vigente, na qual insetos como grilo preto adulto desidratado, farinha de larvas de mosca soldado negra desidratadas, larvas desidratadas de tenébrio comum e larvas desidratadas de tenébrio gigante são considerados ingredientes (MAPA, 2018). Em produtos voltados para a alimentação humana, insetos são considerados contaminantes e têm limites estabelecidos para a presença de seus fragmentos através da RDC nº 14, de 28 de Março de 2014 (ANVISA, 2014).

3.2. Mercado de Produtos Sem Glúten

3.2.1. Motivações para o Consumo de Produtos sem Glúten

Inicialmente desenvolvido para consumidores com restrições alimentares, como doença celíaca, sensibilidade ao glúten e alergia ao trigo, o mercado de produtos sem glúten vem sendo impulsionado nos últimos anos também por consumidores que consideram estes produtos mais saudáveis e naturais.

Doença celíaca é definida como uma doença inflamatória do intestino delgado superior que afeta indivíduos geneticamente suscetíveis, causada pela ingestão de proteínas do glúten presentes no trigo, centeio, cevada e possivelmente aveia (SCHERF; KOEHLER; WIESER, 2016). Inicialmente acreditava-se ser uma doença rara que afetava crianças, causando diarreia e intolerância alimentar, porém atualmente já é considerado um distúrbio multissistêmico

(MALALGODA; SIMSEK, 2017). Estima-se que a prevalência da doença celíaca seja de 1% a nível mundial, apesar dos casos ainda serem sub diagnosticados devido à grande variedade de sintomas (RUBIO-TAPIA et al., 2012). Os sintomas clássicos intestinais são diarreia, vômito e dor abdominal, podendo ocorrer também constipação, ganho de peso e refluxo gastresofágico, enquanto a maioria das manifestações extra intestinais são causadas, de forma geral, pela má absorção de nutrientes, como anemia, redução da densidade mineral óssea, cegueira noturna, entre outras (SCHERF; KOEHLER; WIESER, 2016).

Sensibilidade ao glúten é caracterizada por uma variedade de manifestações imunológicas, morfológicas ou sintomáticas, causadas pela ingestão de glúten por indivíduos não diagnosticados com doença celíaca (LUDVIGSSON et al., 2013) devido à ausência de expressões inflamatórias na mucosa duodenal (BUCCI et al., 2013). A prevalência exata da sensibilidade ao glúten ainda é desconhecida, porém há indícios de que seja superior àquela da doença celíaca, com alcance estimado de até 6% da população mundial (SCHERF; KOEHLER; WIESER, 2016).

Alergia ao trigo é uma reação imunológica às proteínas do trigo, sendo mais frequentemente relacionada às proteínas de armazenamento (principalmente o glúten) ou às inibidoras (SCHERF; KOEHLER; WIESER, 2016). Estudos indicam que alérgicos ao trigo representam aproximadamente 11 a 25% da população com algum tipo de alergia alimentar (HISCHENHUBER et al., 2006). Os sintomas alérgicos geralmente acontecem dentro de algumas horas após a ingestão e são similares a outras reações alérgicas alimentares, podendo ser manifestados na pele ou nos tratos respiratório e gastrointestinal (FOSCHIA et al., 2016).

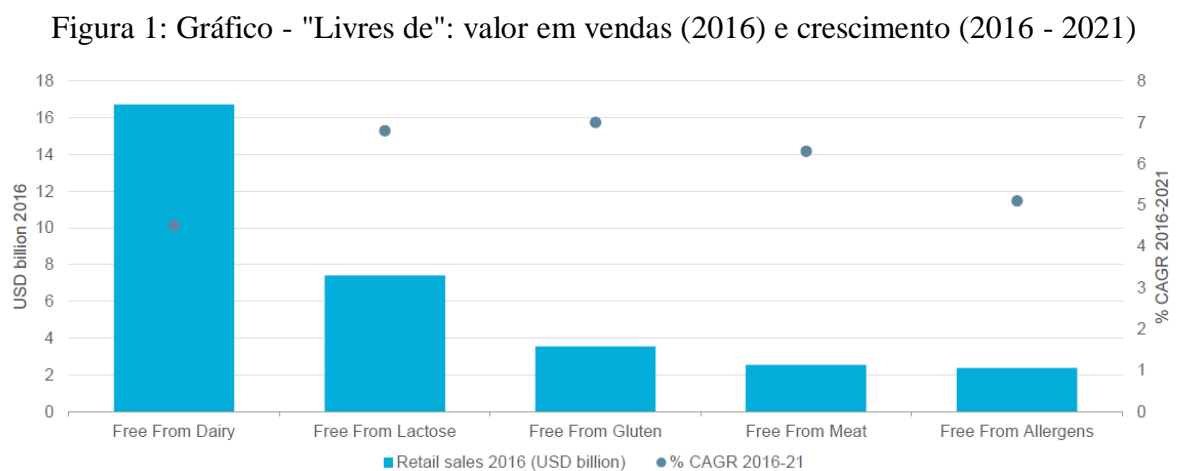
Até o momento, o único tratamento disponível para estas patologias é a adoção de uma dieta restritiva ao consumo de produtos contendo trigo (para alergia ao trigo) e outros cereais que contenham glúten (para doença celíaca e sensibilidade ao glúten), seja pelo consumo de alimentos naturalmente sem glúten, como frutas, carnes e vegetais, ou daqueles produzidos exclusivamente com ingredientes que não contem glúten e são rotulados como “sem glúten”.

Além de intolerâncias e alergias, algumas das principais razões para o crescimento da procura por alimentos “livres de” estão relacionadas a saudabilidade, tendência, sabor e sustentabilidade (EUROMONITOR INTERNATIONAL, 2017). Ao perceberem esta tendência, CHRISTOPH et al. (2018) realizaram uma pesquisa com 1819 jovens adultos (25 a 36 anos) no estado de

Minnesota, nos Estados Unidos. Os resultados mostraram que o interesse por produtos sem glúten está fortemente relacionado à valorização de práticas consideradas sustentáveis de produção de alimentos, como orgânicos, não processados, de cultivo local e não geneticamente modificados. Aqueles que se interessam por alimentos sem glúten também demonstraram ser adeptos a hábitos saudáveis como prática de exercícios, consulta a tabelas nutricionais, consumo regular de frutas e vegetais e menor consumo de bebidas açucaradas, sódio, gorduras trans, entre outros. Além disso, os participantes de menor peso, aqueles com objetivos de peso específicos (ganho, manutenção ou perda) e aqueles engajados em controle de peso, demonstraram maior interesse por produtos sem glúten. Estes resultados confirmam as hipóteses de que os consumidores também buscam alimentos sem glúten por julgá-los mais saudáveis ou promotores de perda de peso.

3.2.2. Dados de Mercado

Entre os produtos “livres de”, aqueles sem ingredientes lácteos representam a maior porção em relação a valor em vendas, atingindo mais de 16 bilhões de dólares em 2016, como mostra a *Figura 1: Gráfico - "Livres de": valor em vendas (2016) e crescimento (2016 - 2021)*. Em termos de crescimento, os alimentos livres de glúten se destacam, sendo estimada uma taxa de crescimento anual composta de 7% entre 2016 e 2021, superior a qualquer outro tipo de produto da mesma categoria. Seguindo esta tendência, o mercado de produtos livres de glúten atingirá um valor em vendas global de 5 bilhões de dólares em 2021 (EUROMONITOR INTERNATIONAL, 2017).

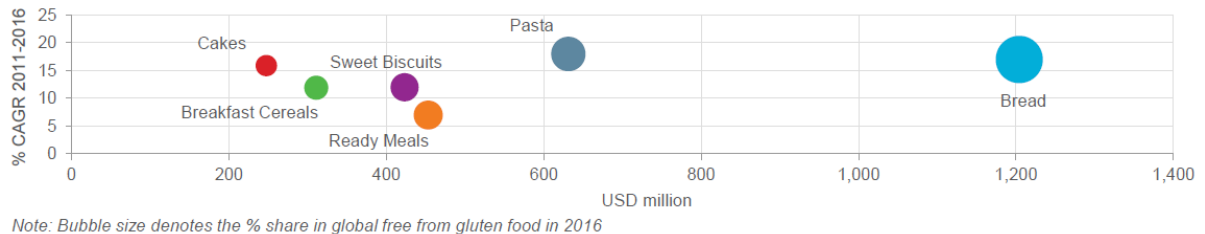


Fonte: Euromonitor International (2017)

Entre os produtos sem glúten disponíveis atualmente no mercado, os pães sem glúten detêm a maior porção em vendas, atingindo 1,2 bilhões de dólares em 2016, seguidos pelas massas, que representaram um valor em vendas de cerca de 600 milhões de dólares no mesmo ano e

obtiveram a maior taxa de crescimento (18%) composta no período de 2011 a 2016 (*Figura 2*). Destacam-se também as vendas de refeições prontas, biscoitos doces, cereais matinais e bolos (EUROMONITOR INTERNATIONAL, 2017).

Figura 2: Gráfico - Alimentos sem glúten: valores em vendas globais de 2011 a 2016



Fonte: Euromonitor International (2017)

A tendência de consumo de produtos sem glúten é evidente em países da Europa Ocidental e América do Norte, porém a demanda por estes produtos ainda é baixa na maioria das regiões emergentes. O Brasil é o único país entre os emergentes que se destaca no consumo de produtos sem glúten (EUROMONITOR INTERNATIONAL, 2017). As vendas destes produtos no Brasil passaram de R\$ 116,7 milhões em 2012 para R\$ 493,8 milhões em 2017, representando um crescimento de 323%. Ainda é estimado um crescimento de mais 54% até 2022, quando serão atingidos valores em vendas de R\$ 760,4 milhões (EUROMONITOR INTERNATIONAL, 2018).

3.3. Panificação sem Glúten

O glúten é composto de duas frações proteicas principais: gliadinas, que contribuem com a viscosidade da massa, e gluteninas, que são responsáveis por sua elasticidade (WIESER, 2007). O desenvolvimento da rede de glúten depende da hidratação destas proteínas e da aplicação de força mecânica através do batimento da massa, que favorecem interações entre gluteninas e gliadinas, levando a um aumento na força da massa (LORENZO; SOSA; CALIFANO, 2018). Após o assamento, quando as proteínas do glúten desnaturam e perdem sua viscoelasticidade, a rede de glúten formada anteriormente é responsável por manter a estrutura da massa e a forma final dos produtos de panificação (ARENDDT et al., 2008 apud MELINI et al., 2017). Desta forma, a rede de glúten promove coesão à massa durante o processamento, retém os gases formados durante a fermentação, ajusta a estrutura do miolo e fornece elasticidade ao pão (DELCOUR et al., 2012).

Ao contrário de produtos de panificação convencionais, em que o batimento prolongado é requerido para o desenvolvimento da rede proteica, para a produção de pães sem glúten esta

etapa não é essencial. Em contrapartida, maiores quantidades de água são necessárias, visto que a água deve estar disponível para a gelatinização do amido durante o assamento, promovendo assim a estrutura dos pães (RENZETTI et al., 2010; WITCZAK et al., 2012). Por esta razão, a ausência de glúten leva à formação de uma massa líquida similar a uma massa de bolo, ao invés de uma massa coesa, resultando em diversos defeitos de qualidade nos produtos de panificação. De forma geral, pães sem glúten apresentam baixa capacidade de retenção de gases e umidade e, conseqüentemente, baixo volume e textura mais densa e seca quando comparados a produtos de panificação tradicionais (WU et al., 2017). A qualidade nutricional de produtos sem glúten também é um aspecto a ser considerado, visto que estes normalmente contêm baixos níveis de proteínas e fibras alimentares e altos níveis de lipídios e carboidratos (MATOS SEGURA; ROSELL, 2011).

O principal desafio no desenvolvimento de produtos de panificação sem glúten é encontrar ingredientes e aditivos capazes de desempenhar o seu papel, ou seja, formar uma massa coesa e elástica que possa ser assada e transformada em um produto alimentício de sabor agradável e com boas propriedades funcionais e nutricionais (DI CAIRANO et al., 2018; LORENZO; SOSA; CALIFANO, 2018). Atualmente nenhuma matéria-prima, ingrediente ou aditivo é capaz de substituir completamente o glúten (CAPRILES; DOS SANTOS; ARÊAS, 2016), porém é possível minimizar os defeitos e melhorar a qualidade dos produtos sem glúten através do uso de ingredientes e técnicas alternativas como fontes de amido, fontes de proteína, hidrocolóides, emulsificantes, enzimas, fermentação *sourdough*, entre outros.

O uso de amido tem grande influência nos parâmetros da massa como textura, retenção de umidade e qualidade final devido à sua capacidade de gelatinização e formação de uma estrutura capaz de reter bolhas de gás (MELINI et al., 2017). Proteínas são usadas com o objetivo de formar uma rede que possa simular algumas propriedades do glúten, melhorando as propriedades reológicas da massa e características estruturais, sensoriais, nutricionais e de prazo de validade dos pães sem glúten (CAPRILES; DOS SANTOS; ARÊAS, 2016). As fontes proteicas mais utilizadas incluem fontes vegetais como farinhas de cereais sem glúten, pseudocereais e legumes, e fontes animais como ovos e proteínas do leite (WU et al., 2017). Hidrocolóides são comumente usados como agentes espessantes devido à sua capacidade de ligar-se à água e aumentar a viscosidade da massa, tendo efeitos positivos em relação ao volume, textura e qualidade final dos pães (MIR et al., 2016). Os hidrocolóides mais utilizados em produtos de panificação sem glúten são HPMC (hidroxipropilmetilcelulose) e goma xantana, sendo também aplicados goma guar, CMC (carboximetilcelulose), goma de alfarroba

e agarose (WANG et al., 2017). Emulsificantes são substâncias adicionadas às formulações com o objetivo de fortalecer a massa, promover maciez ao miolo do pão, auxiliar na retenção de água e reduzir os níveis de retrogradação do amido, contribuindo para o aumento do prazo de validade dos produtos (ONYANGO et al., 2011; PURHAGEN; SJÖÖ; ELIASSON, 2012). Enzimas vêm sendo amplamente utilizadas para melhorar a qualidade de produtos sem glúten. Dependendo da sua atividade, enzimas podem agir para fortalecer a rede proteica, reduzir a retrogradação do amido e aumentar a maciez do miolo e prazo de validade dos produtos (BRITES; SCHMIELE; STEEL, 2018). Enzimas modificadoras de amido (amilase e ciclodextrina glicosiltransferase) e de proteínas (transglutaminase, glicose oxidase e proteases) são as mais utilizadas em produtos sem glúten (DRABIŃSKA; ZIELIŃSKI; KRUPA-KOZAK, 2016; WANG et al., 2017). Melhoras nutricionais, sensoriais, de textura e de prazo de validade também podem ser obtidas através do uso de fermentação *sourdough* (MELINI et al., 2017). Estes efeitos se devem às atividades metabólicas das bactérias e leveduras ácido lácticas como acidificação, produção de exopolissacarídeos, atividades proteolítica, amilolítica e de fitases, e produção de substâncias antimicrobianas (MORONI; DAL BELLO; ARENDT, 2009). Os ingredientes utilizados neste trabalho serão abordados mais detalhadamente a seguir.

3.3.1. Fontes Amiláceas

O amido é um dos principais polímeros de armazenamento de energia em plantas, sendo constituído de dois tipos de moléculas: as ramificadas amilopectinas (formadas por ligações glicosídicas α -1,4) e as lineares amiloses (formadas por ligações glicosídicas α -1,6) (WITCZAK et al., 2016). As diferenças de estrutura destes dois polissacarídeos resultam em significativas variações nas suas propriedades. A amilose é mais suscetível ao processo de cristalização, chamado retrogradação, e é capaz de formar géis e filmes resistentes, enquanto a amilopectina pode ser dispersa em água e retrograda mais lentamente, resultando em géis e filmes mais macios (FREDRIKSSON et al., 1998; HOOVER, 2001; PEREZ; BERTOFT, 2010 apud WITCZAK et al., 2016).

Uma grande variedade de propriedades pode ser observada entre as diferentes espécies das quais o amido é extraído, e até mesmo entre espécies semelhantes submetidas a diferentes condições de crescimento (BENAVENT-GIL; ROSELL, 2019). Entre elas destacam-se: tamanho e forma dos grânulos, cristalinidade do amido, relação amilose:amilopectina, capacidade de dilatação dos grânulos e solubilidade (WITCZAK et al., 2016). Tais propriedades alteram significativamente as características finais dos produtos desenvolvidos com amido,

influenciando a microestrutura e reologia da massa, além da retenção de água, estrutura final e qualidade dos produtos (WITCZAK et al., 2016).

Enquanto o glúten tem papel fundamental em produtos de cereais convencionais, o amido é o componente determinante em promover estrutura e textura aos produtos sem glúten (BENAVENT-GIL; ROSELL, 2019). Os tipos mais comuns utilizados em pães sem glúten são amido de milho, batata e tapioca (MASURE; FIERENS; DELCOUR, 2016), além do crescente uso do amido de trigo nos últimos anos, que apesar de controverso, é garantidamente livre de glúten (MANCEBO et al., 2015).

Quando o amido é aquecido em presença de certa quantidade de água, o inchamento dos grânulos causa a formação de uma estrutura mais compacta, com aumento de volume e mudanças nas propriedades mecânicas (WITCZAK et al., 2016). Isto se deve ao fato de que, ao atingir uma certa temperatura, os grânulos hidratados de amido gelatinizam e as proteínas coagulam, levando à formação da estrutura do miolo de pães (LE-BAIL et al., 2011). Este fenômeno é conhecido como gelatinização do amido e é de grande importância para a produção de pães sem glúten, pois forma uma estrutura na qual as bolhas de gás são retidas (HORSTMANN et al., 2016). Durante o resfriamento, é formada uma estrutura tridimensional que consiste em moléculas de amilose e amilopectina conectadas via pontes de hidrogênio, com a capacidade de absorver grandes quantidades de água (BELLO-PEREZ et al., 2010; PYCIA et al., 2012; SINGH et al., 2003 apud WITCZAK et al., 2016). O posterior resfriamento resulta em uma reorganização das moléculas de amilose e amilopectina, com formação de gel e separação de moléculas de água da estrutura formada anteriormente, fenômeno conhecido como retrogradação, e que tem grandes impactos nas características dos produtos, principalmente na textura de pães (MARTÍNEZ; GOMEZ, 2017; WITCZAK et al., 2016).

A disponibilidade de água é um importante fator que pode modificar as propriedades do amido: quando a quantidade de água é reduzida, a gelatinização do amido é retardada, entretanto se houver grande quantidade de água, o processo de gelatinização ocorrerá rapidamente, porém a formação de gel e retrogradação serão afetadas após o resfriamento (BRITES; SCHMIELE; STEEL, 2018). Dessa forma, é de extrema importância conhecer as funcionalidades do amido e determinar suas interações com os outros constituintes do produto alimentício, como proteínas e hidrocoloides, pois efeitos sinérgicos e antagônicos podem ser causados ao se desenvolver formulações sem glúten (BENAVENT-GIL; ROSELL, 2019).

3.3.1.1. Amido de Milho

Amido de milho é o produto obtido através da moagem úmida dos grãos de milho (EMBRAPA) e é um dos tipos de amido mais utilizados em produtos de panificação sem glúten (BRITES; SCHMIELE; STEEL, 2018). Sua composição centesimal pode ser observada na Tabela 1 abaixo:

Tabela 1: Composição Centesimal do Amido de Milho (em base úmida)

Valor Calórico (kcal)	361
Umidade (g/100g)	12,2
Carboidratos (g/100g)	87,1
Proteínas (g/100g)	0,6
Lipídios (g/100g)	-
Fibra Alimentar (g/100g)	0,7
Cinzas (g/100g)	0,1

Fonte: Tabela TACO (2011)

As propriedades de amidos extraídos de sete diferentes espécies de milho foram avaliadas por SANDHU e SINGH (2007), que obtiveram os seguintes resultados (Tabela 2):

Tabela 2: Propriedades de amidos extraídos de 7 diferentes espécies de milho

Propriedades	Faixas
Conteúdo de amilose (%)	16,9 – 21,3
Poder de inchamento (g/g)	13,7 – 20,7
Solubilidade (%)	9,7 – 15,0
Capacidade de retenção de água (%)	82,3 – 97,7
Temperatura de gelatinização – pico (°C)	69,9 – 74,0
Entalpia de gelatinização (ΔH_{gel}) (J/g)	11,2 – 12,7
Temperatura de retrogradação – pico (°C)	52,4 - 54,5
Entalpia de retrogradação (ΔH_{ret}) (J/g)	4,4 – 6,9
Porcentagem de retrogradação (%)	37,6 – 56,5

Fonte: SANDHU e SINGH (2007)

O baixo teor de amilose indica que o amido de milho é de alta digestão, resultando em uma rápida absorção de glicose quando ingerido, devendo ser consumido com cautela por pessoas diabéticas (SHRESTHA et al., 2015). Outras propriedades que devem ser ressaltadas são a alta capacidade de retenção de água, importante para a estruturação da massa de produtos sem

glúten (BENAVENT-GIL; ROSELL, 2019), e a alta tendência à retrogradação em comparação a outras fontes de amido como arroz, mandioca e batata (JACOBSON; OBANNI; BEMILLER, 1997).

3.3.1.2. Farinha de Arroz

A farinha de arroz é uma das matérias-primas mais utilizadas em formulações de pães sem glúten devido aos seus sabor e cor neutros, propriedades hipoalergênicas, presença de carboidratos de fácil digestão e baixos teores de sódio (ROSELL; MARCO, 2008 apud BRITES; SCHMIELE; STEEL, 2018). O amido é o principal componente do arroz (*Oryza sativa* L.), representando mais de 80% da composição dos grãos. Os grânulos de amido são os menores dentre todos os grãos de cereais, com tamanho que varia entre 2 e 8µm (MARIOTTI et al., 2018). Devido ao seu baixo teor de proteínas e lipídios (Tabela 3), a farinha de arroz é usualmente combinada com outros tipos de farinha de cereais, pseudocereais e legumes como amaranto, grão de bico, trigo sarraceno, ervilha, lentilha, entre outros (GAO et al., 2018b).

Tabela 3: Composição Centesimal da Farinha de Arroz (em base úmida)

Valor Calórico (kcal)	363
Umidade (g/100g)	12,7
Carboidratos (g/100g)	85,5
Proteínas (g/100g)	1,3
Lipídios (g/100g)	0,3
Fibra Alimentar (g/100g)	0,6
Cinzas (g/100g)	0,2

Fonte: Tabela TACO (2011)

As características dos pães produzidos a partir de farinha de arroz dependem das suas propriedades físico-químicas e funcionalidades tecnológicas, que são altamente variáveis conforme a variedade de arroz, tamanho das partículas da farinha, condições de processamento e composição química (TORBICA; HADNADEV; DAPČEVIĆ HADNADEV, 2012).

3.3.3. Fontes Proteicas

Proteínas são utilizadas em produtos de panificação sem glúten para a formação de uma estrutura capaz de simular algumas propriedades do glúten e melhorar as suas propriedades físicas, sensoriais e nutricionais (CAPRILES; DOS SANTOS; ARÊAS, 2016). O uso de fontes proteicas contribui para melhorar a viscosidade das massas e influencia na retenção e expansão

das células de gás devido às suas propriedades espumantes e emulsionantes, resultando em efeitos positivos no volume e textura dos produtos obtidos (BRITES; SCHMIELE; STEEL, 2018; HORSTMANN; FOSCHIA; ARENDT, 2017). Além dos benefícios tecnológicos, a adição de proteínas de fontes livres de glúten tem importante papel nutricional e sensorial, reduzindo as deficiências em aminoácidos dos produtos sem glúten, além de melhorar a cor e sabor (WANG et al., 2017; ZIOBRO et al., 2016) através do escurecimento não enzimático provocado pela reação de Maillard (DEORA; DESWAL; MISHRA, 2015).

HORSTMANN, FOSCHIA e ARENDT (2017) tentaram estabelecer possíveis conexões entre as propriedades de diferentes isolados proteicos (batata, ervilha, alfarroba, tremoço e soja) e a qualidade das massas e pães sem glúten formados a partir deles. Os ingredientes proteicos foram inicialmente caracterizados: em relação ao teor de proteínas, os menores valores obtidos foram de 39,0 e 55,4% nas proteínas de tremoço e alfarroba, respectivamente, e o maior foi de 92,4% na proteína de soja. Tremoço e ervilha apresentaram altos teores de lipídios (10,3 e 7,5%, respectivamente), enquanto as demais proteínas demonstraram conteúdo lipídico inferior a 0,1%. A umidade variou de 7,4% nas proteínas de batata e ervilha a 4,3% na de tremoço e 4,6 na proteína de soja. Para completar a caracterização, foram avaliadas as capacidades de formação de espuma e emulsão a solubilidade em pH 5,5. Os isolados de soja e batata apresentaram as maiores capacidades de formação de espuma (36,8 e 36,38, respectivamente), enquanto a proteína de soja manteve espumas estáveis por mais tempo do que as demais (0,15%/min). Soja (93,53%), batata (93,41%) e tremoço (92,72%) demonstraram maior capacidade emulsificante do que ervilha (89,17%) e alfarroba (89,96%). A maior estabilidade de emulsões foi obtida por tremoço e soja, enquanto a proteína de ervilha apresentou menor estabilidade. Apesar das diferenças significativas no teor lipídico dos ingredientes, a estabilidade das emulsões não foi influenciada por essa característica. Em seguida, foram analisadas as propriedades reológicas das massas e diversas propriedades dos pães, como volume específico, umidade, perda de peso e propriedades de textura. Por fim, as propriedades das proteínas foram relacionadas com as propriedades das massas e dos pães produzidos através de uma análise de correlação de Pearson. Não foram encontradas correlações entre a composição dos isolados proteicos e as propriedades tecnológicas e funcionais analisadas. Em contrapartida, puderam ser observadas fortes correlações entre as propriedades tecnológicas e funcionais das proteínas e as propriedades das massas, conforme pode ser observado na Tabela 4.

Tabela 4: Correlação entre as propriedades das proteínas e dos pães e as propriedades das massas

		RVA - parâmetros				Reômetro
		Pico de Viscosidade	Quebra de Viscosidade	Tempo de Pico	Temperatura de Pico	Tan δ
Propriedades das Proteínas	Formação de espuma	0,97**	0,97**	-0,97**	-0,97**	-0,96**
	Solubilidade em pH 5,5	0,89*		-0,89*	-0,88*	-0,92*
Pão sem Glúten	Coesividade		0,88*			
	Resiliência		0,88*			
	Alongamento celular médio		-0,90*			
	Volume	-0,89*	-0,88*	0,99**	0,99***	

* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$.

Fonte: Horstmann, Foschia e Arendt (2017)

Entre os resultados encontrados, os autores destacaram que uma alta capacidade de formação de espuma leva a picos de viscosidade mais altos a uma temperatura mais baixa e em menos tempo. Estas características poderiam levar à formação de uma massa mais elástica, porém não foi possível obter esta correlação. A solubilidade das proteínas apresentou efeitos similares nos picos de viscosidade, tempo e temperatura. Isso sugere que proteínas solúveis se distribuem mais uniformemente na fase líquida, criando uma rede mais forte através da agregação linear quando desnaturam, em oposição às agregações aleatórias formadas por proteínas insolúveis (ZAYAS, 1997 apud HORSTMANN; FOSCHIA; ARENDT, 2017). Além disso, uma maior viscosidade teve efeito negativo no volume específico dos pães.

3.3.3.1. Insetos

Estudos demonstram que os insetos contêm altos teores de proteínas (chegando a 77% em algumas espécies do grupo dos grilos e gafanhotos) (RUMPOLD; SCHLÜTER, 2013), além de uma ampla variedade de aminoácidos essenciais e semi-essenciais (OIBIOKPA et al., 2018), indicando que o enriquecimento de produtos de panificação sem glúten com farinhas de insetos pode representar melhoras nas propriedades tecnológicas e nutricionais destes produtos.

Até o momento não foram testadas formulações de pães sem glúten contendo farinhas de insetos, porém esta nova fonte proteica vem sendo estudada para o desenvolvimento de produtos de panificação tradicionais.

GONZÁLEZ, GARZÓN e ROSELL (2018) analisaram a substituição de 5% de farinha de trigo por farinhas de larvas de mosca soldado negra (*H. illucens*), grilo doméstico (*A. domestica*) e tenébrio (*T. molitor*). O conteúdo proteico das farinhas variou entre 45% (*H. illucens*) e 57% (*A. domestica*), e o de lipídios entre 27% (*A. domestica*) e 36% (*H. illucens*). A substituição parcial da farinha de trigo por farinhas de insetos afetou as propriedades reológicas das massas: a absorção de água diminuiu em comparação à amostra controle contendo apenas farinha de trigo ($58.80 \pm 0.12\%$), para $56.90 \pm 0.10\%$, $58.20 \pm 0.15\%$ e $57.70 \pm 0.17\%$ quando substituída por farinhas de *H. illucens*, *A. domestica* e *T. molitor*, respectivamente. O tempo de desenvolvimento da massa aumentou levemente com a adição de *A. domestica* ou *H. illucens* (2.5 ± 0.2 min) em comparação com as amostras controle e contendo farinha de *T. molitor* (2.0 ± 0.1 min). A estabilidade das massas também aumentou para aquelas adicionadas de farinhas de *A. domestica* (4.4 ± 0.3 min) e *H. illucens* (7.5 ± 0.3 min) em comparação com a amostra controle (1.1 ± 0.2 min). Estes resultados indicam a formação de massas mais fortes do que aquela contendo apenas farinha de trigo. No que diz respeito aos pães produzidos, observou-se que a presença dos três tipos de farinhas de insetos afetou negativamente o volume específico: foram obtidos significativamente menores volumes em todos os pães em comparação com o controle, com exceção daqueles contendo farinha de *A. domestica*, que apresentaram volume específico similar ao controle. Além disso, os pães contendo farinha de *H. illucens* apresentaram maior umidade e diferenças significativas de textura em relação aos demais, formando miolo mais firme e menores elasticidade, coesão e resiliência. Estes resultados foram inicialmente atribuídos ao alto conteúdo lipídico destes insetos, porém novos testes realizados com farinha de *H. illucens* desengordurada não obtiveram resultados muito diferentes, com exceção à firmeza, que foi significativamente mais baixa do que anteriormente. De forma geral, todas as formulações geraram pães com luminosidade (L^*) reduzida e tonalidades vermelha (a^*) e amarela (b^*) aumentadas. Com relação à composição nutricional, a substituição de farinha de trigo por farinhas de insetos gerou aumento nos teores de proteínas, fibras alimentares totais e lipídios, sendo que os pães contendo farinha de *A. domestica* obtiveram maior conteúdo proteico. A partir destes resultados, os autores concluíram que a substituição de 5% de farinha de trigo por farinha de *A. domestica* (grilo doméstico) levou à produção de pães com propriedades tecnológicas similares às dos pães contendo apenas farinha de trigo, porém com melhores propriedades nutricionais em relação aos conteúdos de proteínas e fibras alimentares. Uma redução na quantidade de lipídios é recomendada para melhor balanço nutricional destes produtos.

Outro estudo conduzido por DE OLIVEIRA et al. (2017) analisou o enriquecimento de pães elaborados com farinha de trigo utilizando concentrações de 5, 10 e 15% (em base de farinha de trigo) de farinha de barata cinérea (*Nauphoeta cinerea*). Inicialmente foi analisada a composição química da farinha, sendo obtidos os seguintes valores: 4,64% de umidade, 4,63% de cinzas, 63,59% de proteínas, 23,29% de lipídios e 4,67% de fibras alimentares. A avaliação da composição de aminoácidos e de ácidos graxos da farinha demonstrou a presença de aminoácidos essenciais e ácidos graxos essenciais e insaturados em grandes quantidades. Análises microbiológicas indicaram condições higiênico-sanitárias satisfatórias, indicando que a farinha é apropriada para consumo humano. Com relação às análises realizadas nos pães, foram observadas diferenças significativas nos volumes de todas as amostras, seguindo uma tendência de diminuição do volume específico com o aumento da concentração de farinha de inseto. Também foi observado um aumento na firmeza dos pães com o aumento do teor de enriquecimento dos pães, sendo que os pães enriquecidos a um nível de 5% não apresentaram diferenças estatisticamente significativas em relação ao padrão (produzido apenas com farinha de trigo). Características externas e internas dos pães foram analisadas e reunidas de forma a gerar um *score* global de qualidade dos pães. Os pães padrão e enriquecidos com 5% de farinha de inseto foram classificados como de boa qualidade (nota de 81 a 100 pontos), enquanto aqueles produzidos com 10 e 15% foram classificados como de qualidade regular (61 a 80 pontos). Os teores de proteínas dos pães foram de 7,88%, 12,53% e 14,67% para os pães enriquecidos com 5, 10 e 15% de farinha de inseto, respectivamente. Não houveram diferenças significativas no teor lipídico das amostras. Os pães produzidos a partir da formulação com 10% de farinha de barata cinérea foram submetidos a análise sensorial, na qual foi obtida uma aceitação global de aproximadamente 85% e 63% de intenção positiva de compra do produto.

3.3.3.2. Lentilha

A lentilha (*Lens culinaris*), assim como outros legumes, é uma importante fonte de proteína na alimentação humana. O conteúdo proteico de legumes varia entre 17 e 30%, sendo superior ao encontrado em cereais (7 a 14%) (FOSCHIA et al., 2017). As proteínas encontradas em legumes são classificadas em: albuminas (solúveis em água), globulinas (solúveis em soluções salinas), prolaminas (álcool solúveis) e gluteninas (solúveis em ácidos diluídos ou detergentes alcalinos) (FAROOQ; BOYE, 2011). As proteínas presentes na farinha de lentilha são majoritariamente globulinas (45 – 50%) e albuminas (15 – 17%) (FOSCHIA et al., 2017). Além disso, legumes contém altos teores de aminoácidos como lisina, leucina, arginina e ácidos glutâmico e aspártico (LÓPEZ-BARRIOS; GUTIÉRREZ-URIBE; SERNA-SALDÍVAR, 2014).

Além de suas propriedades nutricionais, farinhas de legumes são incorporadas em produtos de panificação sem glúten devido às suas propriedades funcionais, com o objetivo de melhorar as propriedades viscoelásticas das massas (FOSCHIA et al., 2017). Entre elas, destacam-se: capacidades de retenção de água e de óleo, ação espumante e emulsificante, capacidade de gelificação (BOYE; ZARE; PLETCH, 2010) e alta solubilidade (80 – 90%) em amplas faixas de pH (FOSCHIA et al., 2017).

Informações a respeito do uso de farinha de lentilha para a produção de pães sem glúten ainda são escassas, porém a aplicação deste legume em outros tipos de produtos de panificação sem glúten como bolos (GULARTE; GÓMEZ; ROSELL, 2012), massas (BOUASLA; WÓJTOWICZ; ZIDOUNE, 2017) e biscoitos tipo cracker (HAN; JANZ; GERLAT, 2010) apresenta resultados altamente satisfatórios.

3.3.3.3. Trigo Sarraceno

O trigo sarraceno é um pseudocereal livre de glúten pertencente à família *Polygonaceae* (SÁNCHEZ et al., 2011 apud GIMÉNEZ-BASTIDA; PISKUŁA; ZIELIŃSKI, 2015). Duas espécies de trigo sarraceno são utilizadas para consumo humano: o trigo sarraceno tartárico (*Fagopyrum tataricum*) e o comum (*Fagopyrum esculentum* Moench), sendo esta última a espécie mais cultivada (MAZZA; OOMAH, 2003 apud ALVAREZ-JUBETE; ARENDT; GALLAGHER, 2010).

Este pseudocereal é considerado de alto valor nutricional devido ao seu conteúdo proteico (12,5%) (ALVAREZ-JUBETE; ARENDT; GALLAGHER, 2010) e composição de aminoácidos balanceada, com altos níveis de aminoácidos essenciais como leucina e lisina (BONAFACCIA et al., 2003 apud COSTANTINI et al., 2014). Além disso, o trigo sarraceno apresenta favorável composição de ácidos graxos, sendo predominantes os ácidos oleico e linoleico (HAGER et al., 2012), contém compostos fenólicos e alta atividade antioxidante (COSTANTINI et al., 2014).

Uma comparação dos efeitos da utilização de misturas de farinha de arroz com farinhas de amaranto, trigo sarraceno, grão de bico, milho, painço e quinoa na produção de pães sem glúten foi realizada por BUREŠOVÁ et al. (2017). As misturas consistiram em 30, 50 e 70% de farinha de arroz com 70, 50 e 30% de farinha de cereal/pseudocereal, respectivamente. As quantidades de proteínas presentes nos cereais e pseudocereais variaram de 11,1% em trigo sarraceno a 25,4% em grão de bico, e os teores de lipídios foram de 0,5% em amaranto a 5,6% em grão de

bico. Foram realizados testes reológicos na massa e avaliadas as propriedades de textura, porosidade e sensoriais dos pães. Os resultados demonstraram maior capacidade de melhorar o comportamento da massa e a qualidade final dos pães através das misturas de 30 e 50% de farinha de trigo sarraceno com 70 e 50% de farinha de arroz, respectivamente, enquanto a utilização de farinhas de painço e milho demonstraram diminuir a qualidade das massas e dos pães.

3.3.4. Hidrocoloides

Hidrocoloides são polissacarídeos solúveis em água de alto peso molecular e estruturas químicas diversas, apresentando ampla variedade de propriedades funcionais que os tornam adequados para inúmeras aplicações em produtos de panificação (LI; NIE, 2016). Estes aditivos alimentares podem ser obtidos de diferentes fontes como algas (ex: carrageninas e alginatos), bactérias (ex: goma xantana), frutas cítricas e maçã (ex: pectina), extratos de sementes (ex: goma guar e goma de alfarroba), exsudatos de plantas (ex: goma arábica) e derivados de celulose (ex: carboximetilcelulose - CMC, hidroxipropilmetilcelulose - HPMC e celulose microcristalina - MCC) (BRITES; SCHMIELE; STEEL, 2018). Devido às suas propriedades hidrofílicas, hidrocoloides podem produzir uma estrutura de gel e aumentar a viscosidade da massa, que fortalecem os arredores das células de gás formadas durante a fermentação, aumentam a retenção dos gases durante o assamento e melhoram o volume, estrutura, textura e aparência de pães sem glúten (HAGER; ARENDT, 2013; LAZARIDOU et al., 2007). Além disso, afetam o nível de retrogradação do amido através da sua capacidade de limitar a difusão e perda de água dos pães, melhorando a reologia da massa e aumentando o prazo de validade dos produtos (MOHAMMADI et al., 2014). A magnitude dos efeitos provocados pelo uso de hidrocoloides depende da sua estrutura química, quantidade utilizada, interações com outros ingredientes e parâmetros do processo (HAGER; ARENDT, 2013; HOUBEN; HÖCHSTÖTTER; BECKER, 2012).

Hidrocoloides derivados de celulose, como o CMC, contém grupos hidrofílicos e hidrofóbicos, que geram atividade interfacial na estrutura da massa durante a fermentação e construção de uma rede de gel durante o processo de fabricação dos pães. Estas estruturas aumentam a viscosidade e reforçam as bordas das células de gás formados na massa, aumentando a retenção dos gases durante o assamento (LAZARIDOU et al., 2007).

A goma xantana apresenta comportamento pseudoplástico que melhora a homogeneidade da massa e previne a formação de aglomerados durante o seu preparo (HO; NOOR AZIAH, 2013).

Além disso, a adição de goma xantana promove aumento da estabilidade da massa, absorção de água, retenção de gases, fração de área ocupada por poros, atividade de água e volume específico, e diminui a firmeza do miolo (OZKOK et al., 2009; ROSELL et al., 2001; SHITTY et al., 2009 apud JAFARI; KOOCHKEKI; MILANI, 2018). Em contrapartida, alguns estudos sugerem que a adição de goma xantana torna a massa muito rígida, diminuindo o volume específico e aumentando a firmeza dos pães (LAZARIDOU et al., 2007; MEZAIZE et al., 2009).

MOHAMMADI et al. (2014) avaliaram os efeitos da adição de goma xantana e CMC nos parâmetros de qualidade de pães pita sem glúten produzidos a partir de amido de milho (70%) e farinha de arroz (30%). Foram testados os efeitos isolados de cada hidrocoloide e combinações de ambos, em concentrações que variaram de 0,5 a 2% em base de farinha. Os resultados demonstraram que as formulações contendo 1,5% de goma xantana ou uma combinação de 1% de goma xantana e 1% de CMC apresentaram maior umidade, menor firmeza e endurecimento durante o armazenamento, maior elasticidade, menor perda de peso e maior aceitação sensorial. De acordo com os autores, estes efeitos se devem à capacidade dos hidrocoloides de ligação à água, que aumenta o teor de umidade dos pães e, conseqüentemente, diminui a perda de peso e retarda a retrogradação do amido e endurecimento dos pães.

3.3.5. Emulsificantes

Emulsificantes são substâncias que contém frações hidrofílicas e hidrofóbicas, sendo capazes de gerar interação e formar emulsões entre fases imiscíveis, reduzir a tensão superficial e formar massas mais estáveis em produtos de panificação (AGUILAR et al., 2015; GOMEZ et al., 2014 apud BRITES; SCHMIELE; STEEL, 2018). Um parâmetro importante para avaliação de emulsificantes é o balanço hidrofílico-lipofílico (HLB), que é utilizado para determinar se são produzidas emulsões do tipo óleo em água (O/A) ou água em óleo (A/O). Quanto maior o HLB, mais hidrofílico é o emulsificante, sendo mais propenso a formar emulsões do tipo O/A (ELGETI; JEKLE, 2015).

Os emulsificantes mais utilizados em produtos de panificação são ésteres de mono e diglicerídeos de ácido tartárico diacetilado (DATEM), lactato de estearoil de sódio (SSL), polisorbatos, ésteres de mono e diglicerídeos de ácidos graxos, lecitina e ésteres de sacarose (TEBBEN; SHEN; LI, 2018). Mono e diglicerídeos são produzidos através de processo de transesterificação e representam cerca de 70% dos emulsificantes alimentícios, formando tipicamente emulsões de água em óleo (A/O) (ELGETI; JEKLE, 2015).

O uso de emulsificantes em produtos de panificação tem como objetivos fortalecer a massa, promover maciez aos pães, melhorar a retenção de água e reduzir os níveis de retrogradação do amido, contribuindo com o aumento do prazo de validade dos produtos (ONYANGO et al., 2011; PURHAGEN; SJÖÖ; ELIASSON, 2012). Estes efeitos são obtidos através de três modos de ação: concentração de emulsificante na interface água-gás, interações com o amido e interações com proteínas (ELGETI; JEKLE, 2015). O acúmulo de emulsificantes na interface dos gases faz com que as bolhas formadas durante a mistura se estendam mais facilmente durante a fermentação, pois as extremidades polares (hidrofílicas) são capazes de reduzir a tensão superficial das bolhas de gás e contribuir para sua estabilização, resultando em produtos de maior volume e estruturas finas de miolo (ELGETI; JEKLE, 2015). A interação entre emulsificantes e proteínas causa fortalecimento da massa através de interações entre as regiões hidrofóbicas, provocando agregação ou desnaturação das proteínas (ELGETI; JEKLE, 2015; TEBBEN; SHEN; LI, 2018). A obtenção de pães com miolos mais macios pode ocorrer através da interação de emulsificantes com o amido. Ácidos graxos de cadeia longa são capazes de formar complexos com as hélices solúveis do amido, retardando a gelatinização e dificultando a retrogradação, sendo associados ao crescimento prolongado durante o assamento e à redução na deterioração dos produtos, respectivamente (KROG, 1971 apud ELGETI; JEKLE, 2015).

Os efeitos da aplicação de emulsificantes nas propriedades da massa e dos pães formados através de uma formulação sem glúten foram avaliados por NUNES et al. (2009). Lecitina, mono e diglicerídeos de ácido tartárico diacetilado (DATEM), monoglicerídeos destilados e lactato de estearoil de sódio (SSL) foram testados em três diferentes níveis (baixo, médio e alto), de acordo com as recomendações dos fabricantes. Em relação às propriedades da massa, aquelas elaboradas com lecitina apresentaram comportamento mais fluido, menor elasticidade e menor resistência à deformação, enquanto as demais apresentaram comportamento similar à amostra controle (sem adição de emulsificantes), com exceção à massa produzida com DATEM, que apresentou maior elasticidade que as demais. As propriedades de gelatinização e retrogradação da massa também foram avaliadas, resultando em maiores picos de gelatinização quando utilizada lecitina, e menores picos para as amostras com monoglicerídeos destilados e a controle. Não foram observadas diferenças significativas nas propriedades de retrogradação entre as amostras. Os resultados obtidos para a lecitina podem ser explicados devido à sua hidrofobicidade, que possibilita a emulsificação da gordura presente na massa, podendo reduzir interações do emulsificante com outros componentes como amido e proteínas, levando a menor absorção de água e aumento na consistência da massa. Em relação às propriedades dos pães,

foram obtidos maiores volumes específicos com a utilização de monoglicéridos destilados, seguidos por SSL, DATEM e lecitina. A perda de peso foi significativamente mais alta para pães com níveis médio e alto de lecitina, porém não foram observadas diferenças significativas de umidade nos pães. A textura dos pães foi analisada após 5 dias de armazenamento, sendo observado um aumento significativo na dureza de todos os pães. Este aumento foi mais expressivo no caso de pães com lecitina em todos os níveis e DATEM em nível baixo, e menos expressivo para aqueles com monoglicéridos destilados e SSL. Estes resultados permitiram concluir que o uso de emulsificantes afetou significativamente as propriedades reológicas das massas e demonstrou grande habilidade de modificar as características de qualidade dos pães.

4. ARTIGO

Artigo formatado para submissão à revista *Innovative Food Science and Emerging Technologies*.

1 **Effects of enrichment with cricket (*Gryllus assimilis*) powder on the**
2 **technological properties of gluten-free bread in comparison with buckwheat**
3 **and lentil flours**

4
5 Carolina da Rosa Machado, Roberta Cruz Silveira Thys*

6 Institute of Food Science and Technology, Federal University of Rio Grande do Sul, Porto
7 Alegre, RS, Brazil.

8
9 *Corresponding author: Roberta Cruz Silveira Thys

10 Institute of Food Science and Technology, Federal University of Rio Grande do Sul (ICTA-
11 UFRGS). Av. Bento Gonçalves, 9500, 91501-970, Porto Alegre, RS, Brazil

12 Tel: +55 51 3308 7789

13 Email: roberta.thys@ufrgs.br

14
15 Declarations of interest: none

16
17 **Abstract**

18 Due to increasing world population and scarce water and land resources to expand current
19 food production, it is necessary to find alternative and sustainable ways of growing food. The
20 aim of this study was to characterise cricket (*Gryllus assimilis*) powder and evaluate its effects
21 on technological properties of gluten-free bread, in comparison with lentil and buckwheat
22 flours. The main components of the cricket powder are protein and lipids (67.45% and 20.96%,
23 respectively). Cricket powder presented high water and oil holding capacities and
24 appropriate microbiological features for human consumption. Its inclusion resulted in gluten-
25 free breads with significantly higher protein and lipids contents than the others. The addition of
26 protein sources affected negatively the textural properties of all samples; however, the oil
27 removal from the formulations containing cricket powder had positive impacts in breads
28 texture. The results found in this study indicate that it is possible to produce good quality gluten-
29 free bread by its enrichment with cricket powder.

30
31 **Keywords:** edible insects, gluten-free, bread, protein, technological properties.

32

33

34 **1. Introduction**

35 Considering that world population is projected to reach 8.6 billion of people in 2030 and
36 9.8 billion in 2050 (United Nations, 2017), it is estimated that, in order to provide enough food
37 to the increasing population, current food production will need to almost double; by contrast,
38 land and water resources are becoming ever more scarce (van Huis et al., 2013). It thus seems
39 necessary to find alternative and sustainable ways of growing food.

40 An increase in interest in the use of edible insects is noticeable in the western world, both
41 by scientific community, through the rising number of studies on this subject, and by
42 entrepreneurs, who gamble on production and commercialisation of products containing insects
43 for human and animal consumption. This growth can be attributed to a report published by the
44 Food and Agriculture Organization (FAO) in 2013, that promotes the use of insects as a new
45 and sustainable source of protein for humans and animals, mainly based on nutritional and
46 environmental aspects (House, 2018). The main components of insects are protein (reaching
47 77% in some species of the order Orthoptera - crickets, grasshoppers and locusts), and fat,
48 followed by fibre and ash in no particular order (Rumpold & Schlüter, 2013). Insects are also a
49 good source of essential and semi-essential amino acids (Oibiokpa, Akanya, Jigam, Abubakar,
50 & Egwim, 2018). According to van Huis & Oonincx (2017), the major environmental
51 advantages of insect farming compared to livestock production are: less land and water is
52 required; greenhouse gas emissions are lower; insects have high feed conversion efficiencies;
53 insects can transform low-value organic by-products into high quality food or feed; and certain
54 insect species can be used as animal feed or aqua feed.

55 Furthermore, the gluten-free food market is on the rise: it is expected a 7% compound
56 annual growth rate between 2016 and 2021, superior than any other product on the “free from”
57 category (Euromonitor International, 2017). Besides gluten intolerances and allergies, this
58 growth is strongly related to consumers' appreciation of sustainable food production practices
59 (i.e. organic, unprocessed, locally sourced, not genetically modified) and their feeling that
60 gluten-free foods are healthier or weight loss promoters (Christoph, Larson, Hootman, Miller,
61 & Neumark-Sztainer, 2018). From all gluten-free products currently available, gluten-free
62 bread has the largest global value of retail sales and was valued at USD1.2 billion in 2016
63 (Euromonitor International, 2017).

64 The enrichment of gluten-free products through the addition of protein sources contributes
65 to enhanced dough viscosity and influences gas retention and gas cell expansion due to protein's
66 foaming and emulsifying properties, resulting in positive effects in bread volume and texture
67 (Brites, Schmiele, & Steel, 2018; Horstmann, Foschia, & Arendt, 2017). Besides technological

68 benefits, addition of non-gluten proteins has important nutritional and sensorial roles, as their
69 addition reduces amino acid deficits and improves the colour and sensory properties of gluten-
70 free bread (Wang, Lu, Li, Zhao, & Han, 2017). Many flours derived from gluten-free cereals,
71 pseudo cereals, legumes, nuts, and fruits have been applied as protein sources in gluten-free
72 formulations (Drabińska, Zieliński, & Krupa-Kozak, 2016). Recent studies have shown positive
73 results by the inclusion of insects in traditional bakery products, resulting in products with
74 similar technological properties to wheat breads, but nutritionally richer, and with good sensory
75 acceptance (de Oliveira, da Silva Lucas, Cadaval, & Mellado, 2017; González, Garzón, &
76 Rosell, 2018; Osimani et al., 2018).

77 Given this scenery, the aim of this study was characterise cricket powder (*Gryllus assimilis*)
78 through physico-chemical and microbiological analysis, and evaluate its effects on
79 technological properties of gluten-free bread, in comparison with widely used protein sources
80 in gluten-free formulations: legume (lentil – *Lens culinaris*) and pseudo cereal (buckwheat -
81 *Fagopyrum esculentum* Moench) flours.

82 **2. Materials and Methods**

83 *2.1. Raw Materials*

84 The ingredients used for bread making were purchased from local supermarkets and
85 consisted of rice flour, cornstarch, sugar, canola oil, dried yeast and salt. Lentil (*Lens culinaris*)
86 and buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) flours were purchased from the local market
87 of Porto Alegre (RS/Brazil). Additives such as mono- and diglycerides of fatty acids
88 (Granolab), xanthan gum (E.R. Atacado) and carboxymethyl cellulose (Mix Indústria de
89 Produtos Alimentícios) were also used. Dehydrated crickets (*Gryllus assimilis*) were obtained
90 from *Hakkuna*, a company located in Minas Gerais (Brazil) that develops cricket-based
91 products for human consumption.

92

93 *2.2. Methods*

94 *2.2.1. Production of Cricket Powder*

95 To obtain the insect powder, dehydrated crickets were ground in a disc mill and then sieved
96 through a 20 mesh. The flour was vacuum-packed and kept frozen until used.

97

98 *2.2.2. Characterisation of Cricket Powder*

99 Analyses to determine the proximate chemical composition of cricket powder were
100 performed according to the American Association of Cereal Chemists approved methods of
101 analysis (AACC International, 2012). Moisture content was determined by thermogravimetric

102 method in an incubator at 105 °C (Method 44-15.0). Protein content (% N x 6.25) was
 103 quantified by Kjeldahl method (Method 46-13.01). Total lipids content was determined using
 104 a Soxhlet extractor and petroleum ether as a solvent (Method 30-25.01). Ash content analysis
 105 was performed in a muffle furnace at 550 °C (Method 08-01.01). Total dietary fibres were
 106 determined by enzymatic-gravimetric method (Method 991.43) according to AOAC
 107 International (1995).

108 Water and oil holding capacities (WHC & OHC) were determined according to method
 109 described by Kabirullah & Wills (1982): 10 ml of soybean oil or distilled water were placed
 110 into centrifuge tubes and stirred with 1g of cricket powder. The tubes were allowed to stand for
 111 30 minutes, then centrifuged at 3500 rev/min for 20 minutes. The supernatant was removed and
 112 WHC/OHC were calculated by the difference between tube weights before and after the
 113 supernatant removal.

114 Microbiological analyses were carried out to attest cricket powder sanitary attributes. The
 115 presence of the following microorganisms was evaluated according to methods described by
 116 the American Public Health Association (APHA, 2001): yeasts and moulds, thermotolerant
 117 coliforms at 45°C and *Staphylococcus aureus*. Salmonella spp. was determined according to
 118 AOAC International (1995) (Method 989.13). All of the assays were carried out in triplicate.

119

120 2.2.3. Bread formulations and bread-making process

121 Bread formulations are presented in **Table 1**. Three protein sources (cricket, lentil and
 122 buckwheat powders) were added at 10% and 20% by flour basis (rice flour and cornstarch) and
 123 compared to a control sample that contained no protein source.

124 **Table 1.** Control and enriched breads formulations

Ingredients (% flour basis)	Control	Enriched breads	
		10%	20%
Rice flour	30	30	30
Cornstarch	70	70	70
Protein source	-	10	20
Sugar	2	2	2
Canola oil	4	4*	4*
Salt	2	2	2
Yeast	2.5	2.5	2.5
Mono- and diglycerides of fatty acids	0.5	0.5	0.5
Xanthan gum	1	1	1
Carboxymethyl cellulose	1	1	1
Water	150	150	150

125 * Due to the high lipid content in the cricket powder, further loaves were prepared for
126 comparison purposes using the same formulations but with no addition of canola oil.

127

128 The doughs were divided into baking tins (180g) and placed into a proofer (Venâncio,
129 Crescepão, Brazil) for 1 hour at 32°C and 80% relative humidity. The samples were baked in
130 an electric turbo oven (Tedesco, FTT 150E, Brazil) for 11 minutes at 220 °C. Loaves were
131 removed from the pans and cooled to room temperature for at least 1 hour before evaluation.
132 Bread-making was carried out in triplicate.

133

134 2.2.4. Bread Quality Evaluation

135 Moisture, protein and total lipids contents of the breads were determined by AACC
136 International (2012) thermogravimetric (105 °C) (Method 44-15.0), Kjeldahl (Method 46-
137 13.01) and Soxhlet (Method 30-25.01) methods, respectively.

138 The weights of the loaves before baking (W_{bb}) and after baking and cooling (W_{ab}) were
139 measured and bake loss was calculated according to the following formula: Bake loss (%) =
140 $[(W_{bb} - W_{ab}) / W_{ab}] \times 100$.

141 Crust and crumb colour were measured by a Chroma meter (Minolta®, CR400, Japan)
142 using the L^* , a^* , b^* colour scale. Results were expressed by the difference of colour between
143 control and tested samples (ΔE) according to Delgado-Nieblas et al. (2012), calculated using
144 the following formula: $\Delta E = \sqrt{(L^*_{\text{sample}} - L^*_{\text{control}})^2 + (a^*_{\text{sample}} - a^*_{\text{control}})^2 + (b^*_{\text{sample}} - b^*_{\text{control}})^2}$.

145 Texture profile analysis (TPA) of bread crumbs was performed on three slices of 30 mm
146 thickness taken from different loaves of each batch using a texture analyser (Stable Micro
147 Systems, TA-XT Plus, UK) equipped with a 50 kg load cell and a 36 mm aluminum cylindrical
148 probe. Test parameters included: pre-test speed: 2.00 mm/s, test speed: 1.7 mm/s, post-test
149 speed: 2.00 mm/s and compression set to 40%. Hardness, cohesiveness, springiness and
150 chewiness were recorded from the TPA measurement.

151 Loaf volume was determined using the rapeseed displacement method (Method 10-
152 05.01) (AACC International, 2012) and expressed in specific volume (ml/g).

153 Internal structure of the loaves was analysed by ImageJ software v. 1.52 (National Institutes
154 of Health, US) using Otsu thresholding algorithm to differentiate gas-cells from non-cells
155 (Gonzales-Barron & Butler, 2006). Images of three slices from each formulation were evaluated
156 using a single 4 cm x 4 cm field of view positioned on three different regions of each slice. The
157 following properties were extracted and calculated: porosity (area of gas cells divided by area

158 of bread slice), cell density (number of gas cells per cm²), and percentage of pores bigger than
159 5 mm (Ziobro, Juszcak, Witczak, & Korus, 2016).

160

161 2.2.5. Statistical analysis

162 All analyses were performed in triplicate. Differences between the formulations were
163 evaluated by one-factor analysis of variance (ANOVA) and Tukey's test based on a significance
164 level of $p < 0.05$ using Minitab software v. 18.1 (Minitab Inc., State College, US).

165

166 3. Results and Discussion

167 3.1. Characterisation of Cricket Powder

168

169 3.1.1. Chemical Composition

170 Proximate chemical composition (g/100g) of cricket (*Gryllus assimilis*) powder in dry basis
171 was as follows: protein - 67.45 ± 1.12 ; lipids - 20.96 ± 0.28 ; dietary fibres - 8.42 ± 0.75 ; ash -
172 3.19 ± 0.04 and moisture - 9.70 ± 0.06 . Very low amounts of carbohydrates were found in the
173 insect powder; similar results (0.1 ± 0.0) were obtained by Zielińska, Baraniak, Karaś,
174 Rybczyńska, & Jakubczyk (2015) when the chemical composition of *Gryllodes sigillatus*
175 (tropical house cricket) was analysed.

176 The main components of the insect powder are protein and lipids. The same proportion has
177 been reported by other authors when analysing insects such as *G. sigillatus* (tropical house
178 cricket), *T. molitor* (mealworm), *S. gregaria* (desert locust) (Zielińska et al., 2015), *H. illucens*
179 (black soldier fly) larvae, *A. domestica* (house cricket) (González et al., 2018) and *N. cinerea*
180 (cinereous cockroach) (de Oliveira et al., 2017).

181 Lentil and buckwheat flours have lower amounts of these components: 26.28% of protein
182 and 1.67% of lipids can be found in lentil flour (Bouasla, Wójtowicz, & Zidoune, 2017) and
183 12.38% of protein and 2.77% of lipid in buckwheat flour (Torbica, Hadnadev, & Dapčević,
184 2010).

185

186 3.1.2. Water and oil holding capacities

187 Water and oil holding capacities are important functional properties as the former affects
188 texture, juiciness, taste, and most notably the shelf life of bakery products (Jideani, 2011),
189 whilst the ability to absorb and retain fat and to interact with it in emulsions influences textural
190 and sensory attributes of food (Haque, Prasad Timilsena, & Benu, 2016). Cricket powder
191 presented higher water and oil holding capacities (2.87 ± 0.04 g_{water}/g_{powder} and 3.22 ± 0.26

192 g_{oil}/g_{powder}) in comparison with lentil (approximately 1.2 g_{water}/g_{flour} and 0.6 g_{oil}/g_{flour}) and
 193 buckwheat (approximately 1.4 g_{water}/g_{flour}) flours (Ladjal Ettoumi & Mohamed, 2015; Raikos,
 194 Neacsu, Russell, & Duthie, 2016), which indicates that it can be an useful ingredient for bakery
 195 applications.

196

197 3.1.3. Microbiological features

198 Results obtained from microbiological evaluation of the cricket powder were: moulds and
 199 yeasts – 4 x 10² CFU/g (exclusive growth of yeasts in the sample); thermotolerant coliforms at
 200 45°C – 4.3 x 10¹ MPN/g; Salmonella spp. – absence in 25g; *Staphylococcus aureus* - <1.0
 201 CFU/g. Comparable values were found by de Oliveira et al. (2017) for cinereous cockroach
 202 powder.

203 These results indicate that the cricket powder is suitable for a safe human consumption
 204 according to the limits established by Brazilian Health Regulatory Agency in the Resolution
 205 RDC 12/2001 (ANVISA, 2001).

206 3.2. Bread Quality Evaluation

207

208 3.2.1. Moisture, protein and lipids contents

209 Results for moisture, protein and lipids contents of the baked breads are presented in **Table**
 210 **2**. There were no significant differences in moisture content of the products.

211

212 **Table 2.** Moisture, protein and lipids contents of the control and enriched breads (based in dry
 213 matter)

Sample	Moisture (g/100 g)	Protein (g/100 g)	Lipids (g/100 g)
Control	61.77 ± 0.27 ^a	6.25 ± 0.16 ^{cde}	1.20 ± 0.11 ^d
Cricket 10%	60.49 ± 0.08 ^a	9.21 ± 0.08 ^b	3.23 ± 0.18 ^b
Cricket 20%	58.45 ± 0.16 ^a	13.57 ± 0.07 ^a	4.49 ± 0.29 ^a
Buckwheat 10%	61.52 ± 0.03 ^a	5.24 ± 0.61 ^e	1.19 ± 0.09 ^d
Buckwheat 20%	60.03 ± 0.08 ^a	6.07 ± 0.12 ^{de}	2.40 ± 0.29 ^c
Lentil 10%	61.97 ± 1.62 ^a	6.63 ± 0.12 ^{cd}	1.27 ± 0.08 ^d
Lentil 20%	59.93 ± 0.14 ^a	7.13 ± 0.11 ^c	1.43 ± 0.02 ^d

214 Values labeled with different letters in the same column are significantly different (p<0 .05)

215

216 The loaves containing cricket powder had significantly higher amounts of protein than the
 217 others. The addition of 10% of cricket powder led to a 47% increase in protein content in
 218 comparison with the control sample. The same percentage increase can be observed when the
 219 amount of insect powder is doubled from 10 to 20%. All the other samples presented

220 statistically similar protein values to the control sample. The use of cricket powder resulted in
 221 significant increases in lipid contents: samples containing 10% of cricket powder had over 2.5
 222 times more lipids than the control sample. When doubling the amount of insect powder from
 223 10 to 20%, there was a rise of 39%. The enrichment with 10% of the other protein sources did
 224 not cause significant differences in relation to the control formulation. However, when the
 225 amount of buckwheat flour was doubled, the lipid content also doubled, whereas for the loaves
 226 made with lentil flour the slight increase in lipid content was not statistically significant.

227

228 3.2.2. Crumb and crust colour

229 **Table 3.** Colour parameters obtained for crust and crumb of control and enriched breads

	Crust Colour				Crumb Colour			
	L*	a*	b*	ΔE	L*	a*	b*	ΔE
Control	79.22 ± 1.93 ^a	-1.48 ± 0.10 ^d	8.54 ± 2.18 ^d		69.56 ± 1.58 ^a	-2.49 ± 0.14 ^e	5.79 ± 0.83 ^d	
Cricket 10%	73.25 ± 2.59 ^{bc}	-0.41 ± 0.12 ^c	11.53 ± 1.57 ^{cd}	7.04 ± 2.19 ^c	51.62 ± 2.35 ^e	1.33 ± 0.36 ^b	11.05 ± 0.99 ^{ab}	19.15 ± 1.97 ^b
Cricket 20%	67.67 ± 2.94 ^{cd}	0.27 ± 0.20 ^b	11.63 ± 1.83 ^{cd}	12.24 ± 2.79 ^{ab}	44.93 ± 2.95 ^f	2.01 ± 0.25 ^a	11.33 ± 0.60 ^a	25.67 ± 2.80 ^a
Buckwheat 10%	75.74 ± 2.51 ^{ab}	0.66 ± 0.34 ^b	15.30 ± 3.35 ^{ab}	8.24 ± 1.87 ^{bc}	61.82 ± 1.53 ^b	0.66 ± 0.44 ^c	9.91 ± 0.95 ^{bc}	9.41 ± 1.20 ^d
Buckwheat 20%	69.93 ± 3.09 ^{cd}	1.87 ± 0.57 ^a	17.41 ± 3.93 ^a	12.70 ± 3.44 ^{ab}	59.73 ± 1.50 ^{bc}	1.74 ± 0.33 ^{ab}	11.54 ± 0.68 ^a	12.81 ± 1.34 ^{cd}
Lentil 10%	64.97 ± 5.55 ^d	0.76 ± 0.41 ^b	13.18 ± 1.83 ^{bc}	16.57 ± 5.16 ^a	57.39 ± 2.58 ^{cd}	-1.50 ± 0.21 ^d	8.97 ± 1.08 ^c	12.70 ± 2.33 ^c
Lentil 20%	64.31 ± 6.58 ^d	1.50 ± 0.43 ^a	16.89 ± 1.84 ^a	16.62 ± 4.24 ^a	56.38 ± 1.96 ^d	-1.11 ± 0.31 ^d	10.39 ± 1.16 ^{ab}	14.09 ± 1.86 ^c

230 Values labeled with different letters in the same column are significantly different ($p < 0.05$)

231 **Table 3** presents results from both crumb and crust colour analysis. The sample containing
 232 10% of cricket powder showed lower global colour variation of the crust, being the one that
 233 most resembles the control sample. With respect to crumb colour, the breads with 10% of
 234 buckwheat flour had the lowest variation in relation to the control sample, whereas the ones
 235 produced with 20% of cricket powder led to the highest variation, possibly due to its low
 236 luminosity (L^*) and slight tendency to red (a^*).

237 Both crumb and crust of the control sample had the highest luminosities, and the values of
 238 this parameter decreased with the addition of protein sources, except from the breads made with
 239 lentil flour, where no significant differences in luminosity could be observed between the
 240 samples containing 10 and 20%. These results show that formulations enriched with dark

241 protein sources, such as cricket and buckwheat flours, result in products with darker crumbs
 242 that can be associated to breads enriched with wholegrain flours (Koletta, Irakli, Papageorgiou,
 243 & Skendi, 2014).

244 The negative a^* values for the crumbs of both the control bread and that containing lentil
 245 flour indicate that these samples tend to green, whilst positive values for the other samples
 246 indicate higher tendency to red. The positive b^* values imply that all of the samples tend to
 247 yellow.

248

249 3.2.3. Texture profile analysis of crumbs

250 Textural parameters of bread crumbs are shown in **Table 4**.

251 **Table 4.** Results obtained from Texture Profile Analysis of control and enriched breads
 252 crumbs

	Hardness (g)	Cohesiveness	Springiness	Chewiness (g)
Control	557.8 ± 21.2 ^e	0.75 ± 0.01 ^{ab}	1.038 ± 0.007 ^{abc}	435.7 ± 21.4 ^d
Cricket 10%	1209.6 ± 10.6 ^b	0.64 ± 0.03 ^{cd}	1.060 ± 0.008 ^a	819.5 ± 33.6 ^{abc}
Cricket 20%	1524.5 ± 151.9 ^a	0.63 ± 0.01 ^d	1.056 ± 0.005 ^{ab}	1020.4 ± 108.5 ^a
Cricket 10% (no oil)	768.7 ± 54.7 ^{de}	0.81 ± 0.03 ^a	1.040 ± 0.006 ^{abc}	651.0 ± 43.9 ^c
Cricket 20% (no oil)	1062.1 ± 101.6 ^{bc}	0.73 ± 0.00 ^b	1.052 ± 0.006 ^{ab}	818.7 ± 88.1 ^{abc}
Buckwheat 10%	804.0 ± 80.7 ^d	0.76 ± 0.03 ^{ab}	1.028 ± 0.004 ^c	631.0 ± 43.9 ^{cd}
Buckwheat 20%	1075.6 ± 121.2 ^{bc}	0.70 ± 0.02 ^{bcd}	1.033 ± 0.007 ^{bc}	728.2 ± 30.6 ^{bc}
Lentil 10%	962.2 ± 57.3 ^{cd}	0.73 ± 0.04 ^b	1.045 ± 0.017 ^{abc}	733.6 ± 76.0 ^c
Lentil 20%	1296.6 ± 69.2 ^{ab}	0.71 ± 0.04 ^{bc}	1.037 ± 0.004 ^{abc}	954.5 ± 100.2 ^{ab}

253 Values labeled with different letters in the same column are significantly different ($p < 0.05$)

254

255 The use of protein sources for bread enrichment increased hardness and chewiness of all of
 256 the samples in comparison with the control. This tendency was also reported by other authors
 257 when testing the inclusion of insects powder in white breads (de Oliveira et al., 2017; González
 258 et al., 2018) and of buckwheat flour in gluten free bread (Torbica et al., 2010). Ziobro et al.
 259 (2016) affirmed that trends observed in the case of hardness generally follow those reported for
 260 chewiness. The former parameter is defined as the force applied by molar teeth to compress the
 261 food, whilst the latter is related to the number of chews necessary before swallowing (Paula &
 262 Conti-Silva, 2014). The oil removal from the formulations using cricket powder had positive
 263 impacts in breads texture, evidenced by decreased hardness and chewiness. González et al.
 264 (2018) obtained the same result when comparing breads made with *H. illucens* (black soldier
 265 fly) larvae whole and defatted flours.

266 Breads produced with lentil and buckwheat flours showed similar cohesiveness to the
 267 control sample. The ones enriched with cricket powder had lower cohesiveness than the others,
 268 however when canola oil was removed from the formulations, a significant increase in
 269 cohesiveness was observed, and the loaves containing 10% of cricket powder (no oil) had the
 270 highest cohesiveness from all formulations. This parameter reflects internal cohesion of the
 271 material; therefore, breads with high cohesiveness are desirable because they are less
 272 susceptible to crumble when sliced and do not disintegrate during mastication (Onyango,
 273 Mutungi, Unbehend, & Lindhauer, 2011).



274 Springiness is related to the elasticity of the bread since it indicates the ability of a material
 275 to return to its original shape after stressing (Cornejo & Rosell, 2015). All of the samples
 276 analysed had similar springiness to the control. Similar springiness values were found by
 277 González et al. (2018) for white breads using 5% of *A. domestica* (house cricket) and *T. molitor*
 278 (mealworm) flours (1.060 ± 0.05 e 1.060 ± 0.19 , respectively).

279

280 3.2.4. Bake loss, specific volume and image analysis

281 Bake loss represents the amount of water and organic material lost during baking. There
 282 were no significant differences between the loaves (results not shown). Results of specific
 283 volume and image analysis of the breads are shown in **Table 5**.

284 **Table 5.** Results of specific volume and image analysis parameters of the breads

Sample	Image	Specific Volume (ml/g)	Porosity (%)	Cell Density (cells/cm ²)	Pores > 5mm (%)
Control		2.66 ± 0.07^{bc}	37.5 ± 0.11^{cd}	13.97 ± 0.81^{cd}	12.17 ± 0.19^a
Cricket 10%		2.20 ± 0.15^d	41.83 ± 2.12^{bc}	16.38 ± 0.10^c	9.03 ± 1.14^{ab}

Cricket 20%		2.33 ± 0.14^{cd}	46.54 ± 1.68^{ab}	21.13 ± 0.54^b	8.27 ± 0.48^b
Cricket 10% (no oil)		2.51 ± 0.10^{bcd}	46.79 ± 1.12^{ab}	15.81 ± 0.47^{cd}	7.34 ± 0.18^b
Cricket 20% (no oil)		2.42 ± 0.08^{bcd}	52.07 ± 0.60^a	17.95 ± 0.96^c	7.25 ± 0.19^b
Buckwheat 10%		2.6 ± 0.08^{bc}	34.93 ± 1.70^d	17.49 ± 0.46^c	7.76 ± 0.22^b
Buckwheat 20%		2.45 ± 0.13^{bcd}	34.73 ± 2.97^d	26.79 ± 0.32^a	6.41 ± 0.65^b
Lentil 10%		2.67 ± 0.18^{ab}	35.04 ± 0.30^d	22.61 ± 0.63^b	6.90 ± 0.98^b
Lentil 20%		2.77 ± 0.08^a	34.78 ± 0.47^d	22.91 ± 0.22^b	6.18 ± 0.19^b

285 Values labeled with different letters in the same column are significantly different ($p < 0.05$)

286 By observing the images of the bread slices, it is possible to assume that higher specific
287 volumes and cell densities, and lower porosities and percentages of pores > 5mm represent
288 higher quality products. The same tendency can be noticed when analysing the results found
289 by Ziobro et al. (2016) using albumin, collagen, pea, lupine and soy isolates and concentrates
290 to produce gluten-free breads.

291 From all protein sources tested, lentil flour originated loaves with higher specific volumes
292 than the others, although an increase from 10 to 20% of this flour did not lead to an increase
293 in this parameter. The removal of canola oil from the formulations of breads with cricket
294 powder did not cause significant differences in their specific volumes, as occurred when
295 González et al. (2018) produced white bread using whole and defatted *H. illucens* (black
296 soldier fly) larvae flours. These results lead to believe that lipid contents of the flours have no
297 influence on this parameter.

298 Breads elaborated with 20% of buckwheat flour obtained cell density (26,79 cells/cm²)
299 significantly higher than the other samples, followed by the ones with 10 and 20% of lentil
300 flour and 20% of cricket powder, which demonstrates a tendency of increasing cell density
301 when increasing protein contents for the formulations tested in this study.

302 The inclusion of cricket powder generated breads with higher porosity in comparison with
303 the others, which can attributed to its high protein content (67.45%). However, porosity
304 differences can also be caused by differences in protein's physicochemical properties such as
305 structure, solubility and hydration (Ziobro et al., 2016).

306 Except from the control bread and the one made with 10% of cricket powder, all of the
307 others showed statistically similar percentage of pores > 5mm.

308

309 **4. Conclusions**

310 Analyses carried out in the cricket powder confirmed its good sanitary attributes for
311 human consumption, in addition to its high protein and lipids contents. Moreover, the high
312 water absorption capacity of the insect powder indicates that bakery products enriched with
313 it can maintain good technological properties during storage, which will be analysed in
314 further studies.

315 All of the enriched breads presented crumbs with higher hardness and chewiness than
316 the control bread. However, for the ones enriched with cricket powder, those parameters
317 improved after canola oil was removed from the formulations, resulting in products with
318 similar characteristics to the control sample. The addition of cricket powder led to

319 nutritional improvements of the loaves in relation to protein values, evidenced by a 47%
 320 rise in comparison to the control when it was added at 10% and by a further 47% increase
 321 when the amount of cricket powder was doubled. The use of insect powder also resulted in
 322 significant increases in lipid contents; therefore, a reduction of this component by the use
 323 of defatted cricket powder or oil-free formulations is recommended in order to obtain
 324 nutritionally richer products.

325 Overall, the results found in this study indicate that it is possible to produce good quality
 326 gluten free bread by its enrichment with cricket powder. Further sensory analysis are
 327 advisable to verify the acceptance of this product by potential consumers.

328

329 **References**

330 AACC International. (2012). *Approved Methods of Analysis* (11th ed.). St. Paul, MN: American
 331 Association of Cereal Chemists (AACC).

332 ANVISA. (2001). RDC nº 12, de 02 de Janeiro de 2001 - Regulamento Técnico Sobre os
 333 Padrões Microbiológicos para Alimentos. Agência Nacional de Vigilância Sanitária
 334 (ANVISA).

335 AOAC International. (1995). *Official Methods of Analysis of AOAC International* (16th ed.).
 336 Arlington: Association of Official Agricultural Chemists (AOAC).

337 APHA. (2001). *Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods*. In I.
 338 F. P., Downes; K. (Ed.) (4th ed.). Washington: American Public Health Association
 339 (APHA).

340 Bouasla, A., Wójtowicz, A., & Zidoune, M. N. (2017). Gluten-free precooked rice pasta
 341 enriched with legumes flours: Physical properties, texture, sensory attributes and
 342 microstructure. *LWT - Food Science and Technology*, 75, 569–577.
 343 <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.10.005>

344 Brites, L. T. G. F., Schmiele, M., & Steel, C. J. (2018). *Gluten-Free Bakery and Pasta Products*.
 345 *Alternative and Replacement Foods* (Vol. 17). Elsevier Inc. [https://doi.org/10.1016/B978-](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811446-9.00013-7)
 346 [0-12-811446-9.00013-7](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811446-9.00013-7)

347 Christoph, M. J., Larson, N., Hootman, K. C., Miller, J. M., & Neumark-Sztainer, D. (2018).
 348 Who Values Gluten-Free? Dietary Intake, Behaviors, and Sociodemographic
 349 Characteristics of Young Adults Who Value Gluten-Free Food. *Journal of the Academy*

- 350 *of Nutrition and Dietetics*. <https://doi.org/10.1016/j.jand.2018.04.007>
- 351 Cornejo, F., & Rosell, C. M. (2015). Physicochemical properties of long rice grain varieties in
352 relation to gluten free bread quality. *LWT - Food Science and Technology*, 62(2), 1203–
353 1210. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.01.050>
- 354 de Oliveira, L. M., da Silva Lucas, A. J., Cadaval, C. L., & Mellado, M. S. (2017). Bread
355 enriched with flour from cinereous cockroach (*Nauphoeta cinerea*). *Innovative Food
356 Science and Emerging Technologies*, 44(December 2016), 30–35.
357 <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.08.015>
- 358 Delgado-Nieblas, C., Aguilar-Palazuelos, E., Gallegos-Infante, A., Rocha-Guzmán, N.,
359 Zazueta-Morales, J., & Caro-Corrales, J. (2012). Characterization and optimization of
360 extrusion cooking for the manufacture of third-generation snacks with winter squash
361 (*Cucurbita moschata* D.) flour. *Cereal Chemistry*, 89(1), 65–72.
362 <https://doi.org/10.1094/CCHEM-02-11-0016>
- 363 Drabińska, N., Zieliński, H., & Krupa-Kozak, U. (2016). Technological benefits of inulin-type
364 fructans application in gluten-free products – A review. *Trends in Food Science and
365 Technology*, 56, 149–157. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.08.015>
- 366 Euromonitor International. (2017). “Free from” food movement: driving growth in health and
367 wellness space, (September).
- 368 Gonzales-Barron, U., & Butler, F. (2006). A comparison of seven thresholding techniques with
369 the k-means clustering algorithm for measurement of bread-crumbs features by digital
370 image analysis. *Journal of Food Engineering*, 74(2), 268–278.
371 <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.03.007>
- 372 González, C. M., Garzón, R., & Rosell, C. M. (2018). Insects as ingredients for bakery goods.
373 A comparison study of *H. illucens*, *A. domestica* and *T. molitor* flours. *Innovative Food
374 Science and Emerging Technologies*. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.03.021>
- 375 Haque, A., Prasad Timilsena, Y., & Benu, A. (2016). *Food Proteins, Structure and Function.
376 Reference Module in Food Science*. Elsevier. [https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-
377 5.03057-2](https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.03057-2)
- 378 Horstmann, S. W., Foschia, M., & Arendt, E. K. (2017). Correlation analysis of protein quality
379 characteristics with gluten-free bread properties. *Food and Function*, 8(7), 2465–2474.

- 380 <https://doi.org/10.1039/c7fo00415j>
- 381 House, J. (2018). Insects as food in the Netherlands: Production networks and the geographies
382 of edibility. *Geoforum*, 94(July 2017), 82–93.
383 <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2018.05.011>
- 384 Jideani, V. A. (2011). Functional Properties of Soybean Food Ingredients in Food Systems. In
385 *Soybean - Biochemistry, Chemistry and Physiology*. <https://doi.org/10.5772/14668>
- 386 Kabirullah, M., & Wills, R. B. H. (1982). Functional properties of acetylated and succinylated
387 sunflower protein isolate. *International Journal of Food Science & Technology*, 17(2),
388 235–249. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1982.tb00179.x>
- 389 Koletta, P., Irakli, M., Papageorgiou, M., & Skendi, A. (2014). Physicochemical and
390 technological properties of highly enriched wheat breads with wholegrain non wheat
391 flours. *Journal of Cereal Science*. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2014.08.003>
- 392 Ladjal Ettoumi, Y., & Mohamed, C. (2015). Some physicochemical and functional properties
393 of pea , chickpea and lentil whole flours Some physicochemical and functional properties
394 of pea , chickpea and lentil whole flours. *International Food Research Journal*,
395 22(3)(May), 987–996. Retrieved from <http://www.ifrj.upm.edu.my>
- 396 Oibiokpa, F. I., Akanya, H. O., Jigam, A. A., Abubakar, A. N., & Egwim, E. C. (2018). Protein
397 quality of four indigenous edible insect species in Nigeria. *Food Science and Human
398 Wellness*. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2018.05.003>
- 399 Onyango, C., Mutungi, C., Unbehend, G., & Lindhauer, M. G. (2011). Modification of gluten-
400 free sorghum batter and bread using maize, potato, cassava or rice starch. *LWT - Food
401 Science and Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.09.006>
- 402 Osimani, A., Milanović, V., Cardinali, F., Roncolini, A., Garofalo, C., Clementi, F., ...
403 Aquilanti, L. (2018). Bread enriched with cricket powder (*Acheta domesticus*). *Innovative
404 Food Science and Emerging Technologies*, 48, 150–163.
- 405 Paula, A. M., & Conti-Silva, A. C. (2014). Texture profile and correlation between sensory and
406 instrumental analyses on extruded snacks. *Journal of Food Engineering*.
407 <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.08.007>
- 408 Raikos, V., Neacsu, M., Russell, W., & Duthie, G. (2016). Comparative study of the functional
409 properties of lupin , green pea , fava bean , hemp , and buckwheat flours as affected by

- 410 pH. <https://doi.org/10.1002/fsn3.143>
- 411 Rumpold, B. A., & Schlüter, O. K. (2013). Nutritional composition and safety aspects of edible
412 insects. *Molecular Nutrition and Food Research*, 57(5), 802–823.
413 <https://doi.org/10.1002/mnfr.201200735>
- 414 Torbica, A., Hadnadev, M., & Dapčević, T. (2010). Rheological, textural and sensory properties
415 of gluten-free bread formulations based on rice and buckwheat flour. *Food Hydrocolloids*,
416 24(6–7), 626–632. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2010.03.004>
- 417 United Nations. (2017). World Population Prospects.
- 418 van Huis, A., & Oonincx, D. G. A. B. (2017). The environmental sustainability of insects as
419 food and feed. A review. *Agronomy for Sustainable Development*.
420 <https://doi.org/10.1007/s13593-017-0452-8>
- 421 Van Huis, A., Van Itterbeeck, J., Klunder, H., Mertens, E., Halloran, A., Muir, G., &
422 Vantomme, P. (2013). Edible Insects: Future prospects for food and feed security. Rome:
423 Food and Agriculture Organization of the United Nations.
424 <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- 425 Wang, K., Lu, F., Li, Z., Zhao, L., & Han, C. (2017). Recent developments in gluten-free bread
426 baking approaches: a review. *Food Science and Technology*, 37(suppl 1), 1–9.
427 <https://doi.org/10.1590/1678-457x.01417>
- 428 Zielińska, E., Baraniak, B., Karaś, M., Rybczyńska, K., & Jakubczyk, A. (2015). Selected
429 species of edible insects as a source of nutrient composition. *Food Research International*.
430 <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.09.008>
- 431 Ziobro, R., Juszczak, L., Witczak, M., & Korus, J. (2016). Non-gluten proteins as structure
432 forming agents in gluten free bread. *Journal of Food Science and Technology*, 53(1), 571–
433 580. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-2043-5>

434

435

436

437

438

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A necessidade de fontes alternativas de alimentos de boa qualidade nutricional e que causem menos impacto ambiental, com o objetivo de suprir a demanda da crescente população mundial, motivou a realização deste trabalho.

A criação e inclusão de insetos na alimentação humana vem sendo incentivada por organizações como a FAO (*Food and Agriculture Organization*) e estudada por diversos pesquisadores em todo o mundo, demonstrando ser uma alternativa adequada para as necessidades da cadeia de alimentos.

Este estudo analisou as propriedades físico-químicas e microbiológicas da farinha de grilo preto (*Gryllus assimilis*) desidratado, e avaliou os efeitos da sua inclusão em pães sem glúten constituídos majoritariamente por amido de milho e farinha de arroz, em comparação com a adição de farinhas de lentilha e trigo sarraceno à mesma formulação base.

Os resultados obtidos demonstraram que a farinha de grilo apresenta boas características nutricionais, principalmente devido ao seu alto teor proteico, altas capacidades de retenção de água e de óleo, e condições microbiológicas adequadas para consumo humano. O enriquecimento de pães sem glúten através da adição da farinha de grilo levou à obtenção de produtos com propriedades tecnológicas satisfatórias, indicando que esta pode ser uma boa fonte proteica para uso pela indústria de alimentos, especialmente em produtos sem glúten.

Para estudos futuros, propõe-se a avaliação da textura dos pães após um período longo de armazenamento, de forma a confirmar que a alta capacidade de retenção de água da farinha de grilo proporciona boas características ao produto durante o seu tempo de vida útil, além de melhorias nutricionais através do desengorduramento da farinha e a realização de análise sensorial para verificar a aceitação deste produto por potenciais consumidores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVAREZ-JUBETE, L.; ARENDT, E. K.; GALLAGHER, E. Nutritive value of pseudocereals and their increasing use as functional gluten-free ingredients. **Trends in Food Science and Technology**, [s. l.], v. 21, n. 2, p. 106–113, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2009.10.014>>

ANVISA. **RDC nº 14, de 28 de Março de 2014 - Regulamento Técnico que estabelece os requisitos mínimos para avaliação de matérias estranhas macroscópicas e microscópicas em alimentos e bebidas e seus limites de tolerância.** Diário Oficial da União, , 2014.

AYIEKO, Monica; ORIARO, V.; NYAMBUGA, IA. Processed Products of Termites and Lake Flies: Improving Entomophagy for Food Security within the Lake Victoria Region. **African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development**, [s. l.], v. 10, n. 2, p. 2085–2098, 2010.

AZZOLLINI, D. et al. Effects of formulation and process conditions on microstructure, texture and digestibility of extruded insect-riched snacks. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, [s. l.], v. 45, n. December 2016, p. 344–353, 2018.

BENAVENT-GIL, Yaiza; ROSELL, Cristina M. **Technological and Nutritional Applications of Starches in Gluten-Free Products**. [s.l.] : Elsevier Inc., 2019. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780128094402000095>>

BOUASLA, Abdallah; WÓJTOWICZ, Agnieszka; ZIDOUNE, Mohammed Nasereddine. Gluten-free precooked rice pasta enriched with legumes flours: Physical properties, texture, sensory attributes and microstructure. **LWT - Food Science and Technology**, [s. l.], v. 75, p. 569–577, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2016.10.005>>

BOYE, Joyce; ZARE, Fatemeh; PLETCH, Alison. Pulse proteins: Processing, characterization, functional properties and applications in food and feed. **Food Research International**, [s. l.], v. 43, n. 2, p. 414–431, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2009.09.003>>

BRITES, Lara T. G. F.; SCHMIELE, Marcio; STEEL, Caroline J. **Gluten-Free Bakery and Pasta Products**. [s.l.] : Elsevier Inc., 2018. v. 17 Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-811446-9/00013-7>>

BROEKMAN, Henrike et al. Shrimp allergic patients are at risk when eating mealworm proteins. **Clinical and Translational Allergy**, [s. l.], v. 5, n. 3, p. 77, 2015. Disponível em: <www.biomedcentral.com/submit%5Cnhttp://www.ctajournal.com/content/5/S3/P77%5Cnhttp://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/>

BUCCI, CRISTINA et al. Gliadin does not induce mucosal inflammation or basophil activation in patients with nonceliac gluten sensitivity: Commentary. **Clinical Gastroenterology And Hepatology**, [s. l.], v. 11, p. 1294–1299, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.cgh.2013.04.022>>

BUREŠOVÁ, Iva et al. The comparison of the effect of added amaranth, buckwheat, chickpea, corn, millet and quinoa flour on rice dough rheological characteristics, textural and sensory quality of bread. **Journal of Cereal Science**, [s. l.], v. 75, p. 158–164, 2017.

CAPRILES, Vanessa D.; DOS SANTOS, Fernanda G.; ARÊAS, José Alfredo G. Gluten-free breadmaking: Improving nutritional and bioactive compounds. **Journal of Cereal Science**, [s. l.], v. 67, p. 83–91, 2016.

CHRISTOPH, Mary J. et al. Who Values Gluten-Free? Dietary Intake, Behaviors, and Sociodemographic Characteristics of Young Adults Who Value Gluten-Free Food. **Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics**, [s. l.], v. 118, n. 8, p. 1389–1398, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jand.2018.04.007>>

COSTANTINI, Lara et al. Development of gluten-free bread using tartary buckwheat and chia flour rich in flavonoids and omega-3 fatty acids as ingredients. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 165, p. 232–240, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.05.095>>

CROWLEY, Pat. **Chapul Bars**. 2018. Disponível em: <<https://chapul.com/>>. Acesso em: 15 set. 2018.

CUDDY, Alice. **Crushed cricket bread hits shelves in Finland**. 2017. Disponível em: <<http://www.euronews.com/2017/11/23/crushed-cricket-bread-hits-shelves-in-finland>>. Acesso em: 15 set. 2018.

DE OLIVEIRA, Lauren Menegon et al. Bread enriched with flour from cinereous cockroach (*Nauphoeta cinerea*). **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, [s. l.], v. 44, n. December 2016, p. 30–35, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ifset.2017.08.015>>

DELCOUR, Jan A. et al. Wheat Gluten Functionality as a Quality Determinant in Cereal-Based Food Products. **Annual Review of Food Science and Technology**, [s. l.], v. 3, n. 1, p. 469–492, 2012. Disponível em: <<http://www.annualreviews.org/doi/10.1146/annurev-food-022811-101303>>

DEORA, Navneet Singh; DESWAL, Aastha; MISHRA, Hari Niwas. Functionality of alternative protein in gluten-free product development. **Food Science and Technology International**, [s. l.], v. 21, n. 5, p. 364–379, 2015.

DI CAIRANO, M., GALGANO, F., TOLVE, R., CARUSO, M.C., CONDELLI, N. Focus on gluten free biscuits: ingredients and issues. **Trends in Food Science and Technology**, [s. l.], v. 81, p. 203–212, 2018.

DRABIŃSKA, Natalia; ZIELIŃSKI, Henryk; KRUPA-KOZAK, Urszula. Technological benefits of inulin-type fructans application in gluten-free products – A review. **Trends in Food Science and Technology**, [s. l.], v. 56, p. 149–157, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2016.08.015>>

ELGETI, Dana; JEKLE, Mario. Lipids in gluten-free bread. **Baking+biscuit international**, [s. l.], n. August, 2015.

EMBRAPA. **Milho: processamento**. [s.d.]. Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONT000fdyq37cx02wx5a900e1ge54lskvq3.html>>. Acesso em: 4 nov. 2018.

EUROMONITOR INTERNATIONAL. “Free from” food movement: driving growth in health and wellness space. [s. l.], n. September, 2017.

EUROMONITOR INTERNATIONAL. “Free from” in Brazil. [s. l.], n. July, 2018.

EUROPEAN COMMISSION. Novel Foods 2015.

FAROOQ, Zubair; BOYE, Joyce I. **Novel Food and Industrial Applications of Pulse Flours and Fractions**. 1. ed. [s.l.] : Elsevier Ltd, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-382018-1.00011-3>>

FOSCHIA, Martina et al. Nutritional therapy – Facing the gap between coeliac disease and gluten-free food. **International Journal of Food Microbiology**, [s. l.], v. 239, p. 113–124, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2016.06.014>>

FOSCHIA, Martina et al. Legumes as Functional Ingredients in Gluten-Free Bakery and Pasta Products. **Annual Review of Food Science and Technology**, [s. l.], v. 8, n. 1, p. 75–96, 2017. Disponível em: <<http://www.annualreviews.org/doi/10.1146/annurev-food-030216-030045>>

GAO, Yu et al. Toxicological characteristics of edible insects in China: A historical review. **Food and Chemical Toxicology**, [s. l.], 2018. a.

GAO, Yupeng et al. Gluten-free bakery and pasta products: prevalence and quality improvement. **International Journal of Food Science and Technology**, [s. l.], v. 53, n. 1, p. 19–32, 2018. b.

GIMÉNEZ-BASTIDA, Juan Antonio; PISKUŁA, Mariusz; ZIELIŃSKI, Henryk. Recent advances in development of gluten-free buckwheat products. **Trends in Food Science and Technology**, [s. l.], v. 44, n. 1, p. 58–65, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2015.02.013>>

GONZÁLEZ, Cristina M.; GARZÓN, Raquel; ROSELL, Cristina M. **Insects as ingredients for bakery goods. A comparison study of H. illucens, A. domestica and T. molitor flours** *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 2018.

GRABOWSKI, Nils Th; KLEIN, Günter. Microbiology of processed edible insect products – Results of a preliminary survey. **International Journal of Food Microbiology**, [s. l.], v. 243, p. 103–107, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2016.11.005>>

GULARTE, Márcia Arocha; GÓMEZ, Manuel; ROSELL, Cristina M. Impact of Legume Flours on Quality and In Vitro Digestibility of Starch and Protein from Gluten-Free Cakes. **Food and Bioprocess Technology**, [s. l.], v. 5, n. 8, p. 3142–3150, 2012.

HAGER, Anna Sophie et al. Investigation of product quality, sensory profile and ultrastructure of breads made from a range of commercial gluten-free flours compared to their wheat counterparts. **European Food Research and Technology**, [s. l.], v. 235, n. 2, p. 333–344, 2012.

HAGER, Anna Sophie; ARENDT, Elke K. Influence of hydroxypropylmethylcellulose (HPMC), xanthan gum and their combination on loaf specific volume, crumb hardness and crumb grain characteristics of gluten-free breads based on rice, maize, teff and buckwheat. **Food Hydrocolloids**, [s. l.], v. 32, n. 1, p. 195–203, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2012.12.021>>

HAKKUNA. **Hakkuna - Proteico e Nutritivo**. 2017. Disponível em: <<http://hakkuna.com/>>. Acesso em: 29 set. 2018.

HALLORAN, A. et al. Life cycle assessment of cricket farming in north-eastern Thailand. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], 2017.

HALLORAN, Afton et al. Life cycle assessment of edible insects for food protein: A review. **Agronomy for Sustainable Development**, [s. l.], v. 36, n. 4, p. 1–13, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s13593-016-0392-8>>

HAN, Jeeyup (Jay); JANZ, Jennifer A. M.; GERLAT, Mindy. Development of gluten-free cracker snacks using pulse flours and fractions. **Food Research International**, [s. l.], v. 43, n. 2, p. 627–633, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2009.07.015>>

HISCHENHUBER, C. et al. Review article: Safe amounts of gluten for patients with wheat allergy or coeliac disease. **Alimentary Pharmacology and Therapeutics**, [s. l.], v. 23, n. 5, p. 559–575, 2006.

HO, L. H.; NOOR AZIAH, A. A. Dough mixing and thermal properties including the pasting profiles of composite flour blends with added hydrocolloids. **International Food Research Journal**, [s. l.], v. 20, n. 2, p. 911–917, 2013.

HORSTMANN, S. W.; FOSCHIA, M.; ARENDT, E. K. Correlation analysis of protein quality characteristics with gluten-free bread properties. **Food and Function**, [s. l.], v. 8, n. 7, p. 2465–2474, 2017.

HORSTMANN, Stefan et al. Fundamental Study on the Impact of Gluten-Free Starches on the Quality of Gluten-Free Model Breads. **Foods**, [s. l.], v. 5, n. 2, p. 30, 2016. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/2304-8158/5/2/30>>

Houben, Andreas; Höchstötter, Agnes; Becker, Thomas. Possibilities to increase the quality in gluten-free bread production: An overview. **European Food Research and Technology**, [s. l.], v. 235, n. 2, p. 195–208, 2012.

HOUSE, Jonas. Insects as food in the Netherlands: Production networks and the geographies of edibility. **Geoforum**, [s. l.], v. 94, n. July 2017, p. 82–93, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2018.05.011>>

JACOBSON, Mark R.; OBANNI, Mohamed; BEMILLER, James N. Retrogradation of starches from different botanical sources. **Cereal Chemistry**, [s. l.], v. 74, n. 5, p. 511–518, 1997.

JAFARI, Morteza; KOOCHEKI, Arash; MILANI, Elnaz. Functional effects of xanthan gum on quality attributes and microstructure of extruded sorghum-wheat composite dough and bread. **LWT - Food Science and Technology**, [s. l.], v. 89, p. 551–558, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.11.031>>

JONGEMA, Yde. **List of Edible Insect Species of the World**. 2017. Disponível em: <<https://www.wur.nl/en/Research-Results/Chair-groups/Plant-Sciences/Laboratory-of-Entomology/Edible-insects/Worldwide-species-list.htm>>. Acesso em: 10 set. 2018.

KIM, Hyun Wook et al. Pre-treated mealworm larvae and silkworm pupae as a novel protein ingredient in emulsion sausages. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, [s. l.], v. 38, p. 116–123, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ifset.2016.09.023>>

LAZARIDOU, A. et al. Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations. **Journal of Food Engineering**, [s. l.], v. 79, n. 3, p. 1033–1047, 2007.

LE-BAIL, Alain et al. Influence of the amount of steaming during baking on the kinetic of heating and on selected quality attributes of bread. **Journal of Food Engineering**, [s. l.], v. 105, n. 2, p. 379–385, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.03.001>>

LI, Juan Mei; NIE, Shao Ping. The functional and nutritional aspects of hydrocolloids in foods. **Food Hydrocolloids**, [s. l.], v. 53, n. 2016, p. 46–61, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.01.035>>

LIU, Changqi; ZHAO, Jing. **Insects as a Novel Food**. [s.l.] : Elsevier, 2018. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780081005965217824>>

LÓPEZ-BARRIOS, Lidia; GUTIÉRREZ-URIBE, Janet A.; SERNA-SALDÍVAR, Sergio O. Bioactive Peptides and Hydrolysates from Pulses and Their Potential Use as Functional Ingredients. **Journal of Food Science**, [s. l.], v. 79, n. 3, 2014.

LORENZO, Gabriel; SOSA, Meli; CALIFANO, Alicia. **Alternative Proteins and Pseudocereals in the Development of Gluten-Free Pasta**. [s.l.] : Elsevier Inc., 2018. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-811446-9/00015-0>>

LUDVIGSSON, Jonas F. et al. The Oslo definitions for coeliac disease and related terms. **Gut**, [s. l.], v. 62, n. 1, p. 43–52, 2013.

MALALGODA, Maneka; SIMSEK, Senay. Celiac disease and cereal proteins. **Food Hydrocolloids**, [s. l.], v. 68, p. 108–113, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.09.024>>

MANCEBO, Camino M. et al. Mixture design of rice flour, maize starch and wheat starch for optimization of gluten free bread quality. **Journal of Food Science and Technology**, [s. l.], v. 52, n. 10, p. 6323–6333, 2015.

MAPA. **Matérias-primas aprovadas pelo MAPA para uso na alimentação animal** Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, , 2018. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-pecuarios/alimentacao-animal/arquivos-alimentacao-animal/MatiasprimasaprovadasPortal31.07.2018.pdf>>

MARBERG, Angela; VAN KRANENBURG, Hans; KORZILIUS, Hubert. The big bug: The legitimization of the edible insect sector in the Netherlands. **Food Policy**, [s. l.], 2017.

MARIOTTI, Manuela et al. Rheological behaviour of rice flour gels during formation: Influence of the amylose content and of the hydrothermal and mechanical history. **Food Hydrocolloids**, [s. l.], v. 84, n. June, p. 257–266, 2018.

MARTÍNEZ, Mario M.; GOMEZ, Manuel. Rheological and microstructural evolution of the most common gluten-free flours and starches during bread fermentation and baking. **Journal of Food Engineering**, [s. l.], v. 197, p. 78–86, 2017.

MASURE, Hanne G.; FIERENS, Ellen; DELCOUR, Jan A. Current and forward looking experimental approaches in gluten-free bread making research. **Journal of Cereal Science**, [s. l.], v. 67, p. 92–111, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jcs.2015.09.009>>

MATOS SEGURA, María Estela; ROSELL, Cristina M. Chemical Composition and Starch Digestibility of Different Gluten-free Breads. **Plant Foods for Human Nutrition**, [s. l.], v. 66, n. 3, p. 224–230, 2011.

MELINI, Francesca et al. Current and Forward-Looking Approaches to Technological and Nutritional Improvements of Gluten-Free Bread with Legume Flours: A Critical Review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, [s. l.], v. 16, n. 5, p. 1101–1122, 2017.

MEZAIZE, S. et al. Optimization of gluten-free formulations for French-style breads. **Journal of Food Science**, [s. l.], v. 74, n. 3, p. 140–146, 2009.

MIR, Shabir Ahmad et al. Influence of hydrocolloids on dough handling and technological properties of gluten-free breads. **Trends in Food Science and Technology**, [s. l.], v. 51, p. 49–57, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2016.03.005>>

- MOHAMMADI, Mehrdad et al. Development of gluten-free flat bread using hydrocolloids: Xanthan and CMC. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, [s. l.], v. 20, n. 4, p. 1812–1818, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jiec.2013.08.035>>
- MORONI, Alice V.; DAL BELLO, Fabio; ARENDT, Elke K. Sourdough in gluten-free bread-making: An ancient technology to solve a novel issue? **Food Microbiology**, [s. l.], v. 26, n. 7, p. 676–684, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.fm.2009.07.001>>
- NUNES, Maria Helena B. et al. Impact of emulsifiers on the quality and rheological properties of gluten-free breads and batters. **European Food Research and Technology**, [s. l.], v. 228, n. 4, p. 633–642, 2009.
- NUTRINSECTA. **Nutrinsecta - Insetos comestíveis, alimento nutritivo**. 2013. Disponível em: <<http://www.nutrinsecta.com.br/>>. Acesso em: 29 set. 2018.
- OIBIOKPA, Florence Inje et al. Protein quality of four indigenous edible insect species in Nigeria. **Food Science and Human Wellness**, [s. l.], 2018. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2213453017301015>>
- ONYANGO, Calvin et al. Modification of gluten-free sorghum batter and bread using maize, potato, cassava or rice starch. **LWT - Food Science and Technology**, [s. l.], 2011.
- OSIMANI, Andrea et al. Bread enriched with cricket powder (*Acheta domesticus*). **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, [s. l.], v. 48, p. 150–163, 2018.
- POMA, Giulia et al. Evaluation of hazardous chemicals in edible insects and insect-based food intended for human consumption. **Food and Chemical Toxicology**, [s. l.], 2017.
- PURHAGEN, Jeanette K.; SJÖÖ, Malin E.; ELIASSON, Ann Charlotte. The anti-staling effect of pre-gelatinized flour and emulsifier in gluten-free bread. **European Food Research and Technology**, [s. l.], v. 235, n. 2, p. 265–276, 2012.
- RENZETTI, S. et al. Oxidative and proteolytic enzyme preparations as promising improvers for oat bread formulations: Rheological, biochemical and microstructural background. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 119, n. 4, p. 1465–1473, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.09.028>>
- RUBIO-TAPIA, Alberto et al. The prevalence of celiac disease in the United States. **American Journal of Gastroenterology**, [s. l.], v. 107, n. 10, p. 1538–1544, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1038/ajg.2012.219>>
- RUMPOLD, Birgit A.; SCHLÜTER, Oliver K. Nutritional composition and safety aspects of edible insects. **Molecular Nutrition and Food Research**, [s. l.], v. 57, n. 5, p. 802–823, 2013.
- SAFARI INSETOS. **Safari Insetos**. 2018. Disponível em: <<http://www.safarinsetos.com.br/>>. Acesso em: 29 set. 2018.
- SANDHU, Kawaljit Singh; SINGH, Narpinder. Some properties of corn starches II: Physicochemical, gelatinization, retrogradation, pasting and gel textural properties. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 101, n. 4, p. 1499–1507, 2007.
- SCHERF, Katharina Anne; KOEHLER, Peter; WIESER, Herbert. Gluten and wheat sensitivities - An overview. **Journal of Cereal Science**, [s. l.], v. 67, p. 2–11, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jcs.2015.07.008>>
- SHRESTHA, Ashok K. et al. Molecular, mesoscopic and microscopic structure evolution during amylase digestion of extruded maize and high amylose maize starches. **Carbohydrate**

Polymers, [s. l.], v. 118, p. 224–234, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.11.025>>

SMETANA, Sergiy et al. Sustainability of insect use for feed and food: Life Cycle Assessment perspective. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 137, p. 741–751, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.148>>

SUN-WATERHOUSE, Dongxiao et al. Transforming insect biomass into consumer wellness foods: A review. **Food Research International**, [s. l.], v. 89, p. 129–151, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2016.10.001>>

TABELA TACO. **TACO Tabela Brasileira de Composição de Alimentos** Campinas/SPNEPA-UNICAMP, 2011.

TEBBEN, Lauren; SHEN, Yanting; LI, Yonghui. **Improvers and functional ingredients in whole wheat bread: A review of their effects on dough properties and bread quality**. [s.l.] : Elsevier Ltd, 2018. v. 81 Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.08.015>>

TORBICA, Aleksandra; HADNADEV, Miroslav; DAPČEVIĆ HADNADEV, Tamara. Rice and buckwheat flour characterisation and its relation to cookie quality. **Food Research International**, [s. l.], v. 48, n. 1, p. 277–283, 2012.

UNITED NATIONS. **World Population Prospects**, 2017.

VAN HUIS, A.; DUNKEL, F. V. **Edible Insects: A Neglected and Promising Food Source**. [s.l.] : Elsevier Inc., 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-802778-3.00021-4>>

VAN HUIS, Arnold et al. **Edible Insects: Future prospects for food and feed security**. Rome Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2013. Disponível em: <<http://edepot.wur.nl/258042>>

VAN HUIS, Arnold. **Edible insects are the future?** *Proceedings of the Nutrition Society*, 75(3), 294-305, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/doi:10.1017/S0029665116000069>>

VAN HUIS, Arnold; OONINCX, Dennis G. A. B. **The environmental sustainability of insects as food and feed. A review** *Agronomy for Sustainable Development*, 2017.

WANG, Kun et al. Recent developments in gluten-free bread baking approaches: a review. **Food Science and Technology**, [s. l.], v. 37, n. suppl 1, p. 1–9, 2017. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-20612017000500001&lng=en&tlng=en>

WIESER, Herbert. Chemistry of gluten proteins. **Food Microbiology**, [s. l.], v. 24, n. 2, p. 115–119, 2007.

WITCZAK, Mariusz et al. Influence of modified starches on properties of gluten-free dough and bread. Part II: Quality and staling of gluten-free bread. **Food Hydrocolloids**, [s. l.], v. 29, n. 1, p. 68–74, 2012.

WITCZAK, Mariusz et al. Starch and starch derivatives in gluten-free systems - A review. **Journal of Cereal Science**, [s. l.], v. 67, p. 46–57, 2016.

WU, Tong et al. Effects of chemical composition and baking on in vitro digestibility of proteins in breads made from selected gluten-containing and gluten-free flours. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 233, p. 514–524, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.04.158>>

ZIELIŃSKA, Ewelina et al. Selected species of edible insects as a source of nutrient composition. **Food Research International**, [s. l.], 2015.

ZIOBRO, Rafał et al. Non-gluten proteins as structure forming agents in gluten free bread. **Journal of Food Science and Technology**, [s. l.], v. 53, n. 1, p. 571–580, 2016.