



JÉSSICA SOUSA GUIMARÃES

**AMBIENTES VIRTUAIS E MEDIDAS BIOMÉTRICAS
APLICADAS NA CIÊNCIA SENSORIAL E ESTUDOS COM
CONSUMIDORES**

**LAVRAS – MG
2022**

JÉSSICA SOUSA GUIMARÃES

**AMBIENTES VIRTUAIS E MEDIDAS BIOMÉTRICAS APLICADAS NA CIÊNCIA
SENSORIAL E ESTUDOS COM CONSUMIDORES**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras,
como parte das exigências do Programa de Pós-
Graduação em Ciência dos Alimentos, área de
concentração em Desenvolvimento e Avaliação
Funcional, Química, Biológica e Sensorial de
Alimentos, para a obtenção do título de Doutora.

Profa. Dra. Ana Carla Marques Pinheiro
Orientadora

**LAVRAS – MG
2022**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Guimarães, Jéssica Sousa.

Ambientes virtuais e medidas biométricas aplicadas na ciência sensorial e estudos com consumidores / Jéssica Sousa Guimarães. - 2022.

89 p.: il.

Orientador(a): Ana Carla Marques Pinheiro.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2022.
Bibliografia.

1. Tecnologias imersivas. 2. Medida acústica biométrica. 3. Respostas sensoriais. I. Pinheiro, Ana Carla Marques. II. Título.

JÉSSICA SOUSA GUIMARÃES

**AMBIENTES VIRTUAIS E MEDIDAS BIOMÉTRICAS APLICADAS NA CIÊNCIA
SENSORIAL E ESTUDOS COM CONSUMIDORES**

**VIRTUAL ENVIRONMENTS AND BIOMETRIC MEASUREMENTS APPLIED
IN SENSORY SCIENCE AND CONSUMERS STUDIES**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras,
como parte das exigências do Programa de Pós-
Graduação em Ciência dos Alimentos, área de
concentração em Desenvolvimento e Avaliação
Funcional, Química, Biológica e Sensorial de
Alimentos, para a obtenção do título de Doutora.

APROVADA em 30 de novembro de 2022.

Dr. Cleiton Antônio Nunes	UFLA
Dr. Dieyckson Osvani Freire	UFLA
Dra. Sabrina Carvalho Bastos	UFLA
Dra. Camila Argenta Fante	UFMG



Profa. Dra. Ana Carla Marques Pinheiro
Orientadora

**LAVRAS – MG
2022**

À minha irmã Angélica, pelo apoio, incentivo e por não me deixar desistir.
Você é meu exemplo de coragem!
Com amor,
Dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter restaurado os meus sonhos ao longo dessa caminhada. Em inúmeros momentos pensei em desistir e foi pelo seu amor e sua misericórdia que superei cada dificuldade.

À Santa Rita de Cássia por ser intercessora junto a Jesus e ter me concedido a graça de alcançar o que aos meus olhos parecia impossível.

Aos meus pais, Osvaldo e Marli, e meu irmão Igor, pelo amor e apoio incondicionais e por estarem sempre ao meu lado, me fortalecendo em cada obstáculo. Amo vocês.

À minha irmã Angélica, por não só acreditar em meus sonhos, como não medir esforços para me ajudar a realizá-los. Sem você, eu não teria vencidos todos os obstáculos. Essa conquista é tão sua quanto minha. Você é parte de mim e, por ser amor, transborda!

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), em especial, ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos (PPGCA) e do Departamento de Ciência dos Alimentos (DCA) que contribuíram para o meu crescimento profissional.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos (processo 88882.184517/2018-01).

À professora Ana Carla Marques Pinheiro, pela oportunidade da orientação e de fazer parte da sua equipe de pesquisa, pelos ensinamentos e as contribuições para meu aperfeiçoamento profissional e pela confiança no meu trabalho.

Ao professor Cleiton Antônio Nunes pela ajuda, ensinamentos, dedicação ao nosso trabalho, por estar sempre disposto a colaborar e pela gentileza em participar da banca, enriquecendo o trabalho.

Aos membros da banca Sabrina Carvalho Bastos, Dieyckson Osvani Freire e a Camila Argenta Fante pela gentileza em participarem da banca, colaborando e enriquecendo ainda mais o trabalho.

À professora Vanessa pelos direcionamentos ao longo da minha trajetória.

Ao professor Danton e ao seu aluno Luís Santos pela ajuda, paciência, dedicação, contribuições e direcionamentos na condução do trabalho.

Aos técnicos e funcionários do DCA, especialmente a toda equipe do Laboratório de Análise Sensorial pela disponibilidade e envolvimento nas análises.

Aos alunos de Iniciação Científica, Ana Luíza e Leonardo Muniz, pela colaboração nas análises sensoriais.

A equipe do LabCarnes (Laboratório de Ciência e Tecnologia de Carnes) quero agradecer-lhes por ter me acolhido como “agregada” do laboratório, os momentos prazerosos que passamos juntos e as deliciosas confraternizações que proporcionaram um convívio para muito além de apenas profissional.

Aos meus queridos provadores pela colaboração e participação ao decorrer do experimento. A realização desse trabalho não seria possível sem vocês.

Enfim, a todos os amigos e familiares que de forma direta ou indireta compartilharam desta conquista.

MUITO OBRIGADA!

“Eu tentei 99 vezes e falhei, mas na centésima tentativa eu consegui. Nunca desista de seus objetivos mesmo que esses pareçam impossíveis, a próxima tentativa pode ser a vitoriosa”. (Albert Einstein)

RESUMO GERAL

Uma nova tendência na ciência sensorial tem surgido com os avanços nas tecnologias digitais com oportunidades para coletar novos tipos de respostas e em busca de uma melhor compreensão dos processos fisiológicos que desencadeiam a percepção sensorial. Os ambientes virtuais são exemplos dessas tecnologias promissoras para simular contextos e cenários mais realistas e naturais, enquanto as técnicas biométricas permitem obter medidas fisiológicas. Diante do exposto, as contribuições do presente estudo são: i) revisar os fundamentos psicofisiológicos das realidades virtual e aumentada, as suas aplicações sensoriais e o impacto da familiarização no desempenho sensorial e ii) avaliar o desempenho de uma ferramenta biométrica sonora durante a mastigação de um alimento crocante para validá-la como uma técnica de medida acústica alternativa e para prever as respostas sensoriais dos consumidores. Para isso, no primeiro artigo, foi realizada uma pesquisa nas bases de dados *Web of Science* e *Science Direct*, limitando-se a estudos publicados nos últimos 5 anos e disponíveis *online*. Um total de 19 artigos foram identificados em pesquisas sensoriais. As descobertas sugerem que é necessário a fase de familiarização para minimizar os efeitos de distração e novidade percebidos pelo consumidor em um primeiro contato com as técnicas. O uso de um contexto não relacionado ao teste definitivo é eficaz, desde que as atividades principais dos testes definitivos sejam abordadas e treinadas nesse contexto. No segundo artigo, utilizou-se o laringofone para registrar o sinal acústico durante a mastigação de cinco amostras de biscoito tipo *wafer* com variações nos níveis de crocância. Avaliou-se a aceitação em relação aos atributos aspecto global, textura e ideal de crocância e a textura instrumental. Os valores médios dos sinais acústicos totais de cada tratamento foram calibrados em relação à média dos escores sensoriais e de textura instrumental, usando regressão por mínimos quadrados. Os resultados demonstraram que o sinal acústico total apresentou uma relação linear positiva para os parâmetros avaliados, sendo diretamente proporcional às respostas sensoriais e inversamente a resposta instrumental. O laringofone foi capaz de captar as diferenças sonoras entre os tratamentos e o sinal acústico refletiu um baixo ou alto nível de crocância do biscoito tipo *wafer*. Para garantir um bom desempenho e capacidade de predição dos modelos foi necessário, no mínimo, a coleta de respostas sensoriais de 60 provadores. Portanto, o laringofone e os ambientes virtuais, são ferramentas promissoras para a ciência sensorial, no desenvolvimento de produtos e controle de qualidade, permitindo que as indústrias posicionem seus produtos estrategicamente no mercado ao garantir a satisfação dos consumidores.

Palavras-chave: Tecnologia imersiva. Resposta sensorial. Modelos preditivos. Regressão. Mastigação.

GENERAL ABSTRACT

A new trend in sensory science has emerged with advances in digital technologies with opportunities to collect new types of responses and in search of a better understanding of the physiological processes that trigger sensory perception. Virtual environments are examples of these promising technologies to simulate more realistic and natural contexts and scenarios, while biometric techniques allow physiological measurements to be obtained. Given the above, the contributions of the present study are: i) to review the psychophysiological fundamentals of virtual and augmented realities, their sensory applications and the impact of familiarization on sensory performance and ii) to evaluate the performance of a sound biometric tool during the chewing of a crispy food to validate it as an alternative acoustic measurement technique and to predict consumers' sensory responses. For this, in the first article, a search was carried out in the Web of Science and Science Direct databases, limited to studies published in the last 5 years and available online. A total of 19 articles were identified in sensory surveys. The findings suggest that the familiarization phase is necessary to minimize the effects of distraction and novelty perceived by the consumer in a first contact with the techniques. Using a context unrelated to the definitive test is effective as long as the core activities of definitive tests are addressed and trained in that context. In the second article, the laryngophone was used to record the acoustic signal during the chewing of five samples of wafer biscuits with variations in the levels of crispness. The acceptance was evaluated in relation to the attributes global aspect, texture and ideal of crispness and the instrumental texture. The average values of the total acoustic signals of each treatment were calibrated in relation to the average of the sensorial and instrumental texture scores, using regression by least squares. The results showed that the total acoustic signal presented a positive linear relationship for the evaluated parameters, being directly proportional to the sensorial responses and inversely to the instrumental response. The laryngophone was able to capture the sound differences between treatments and the acoustic signal reflected a low or high level of crispness of the wafer biscuit. To ensure a good performance and predictive capacity of the models, it was necessary, at least, to collect sensory responses from 60 evaluators. Therefore, the laryngophone and virtual environments are promising tools for sensory science, product development and quality control, allowing industries to strategically position their products in the market while ensuring consumer satisfaction.

Keywords: Immersive technology. Sensory response. Predictive models. Regression. Chewing.

SUMÁRIO

	PRIMEIRA PARTE	11
1.	INTRODUÇÃO	12
2.	REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1	A percepção multissensorial de alimentos	14
2.1.1	Fisiologia da percepção dos aspectos sensoriais pelos sentidos humanos	15
2.2	Fisiologia da mastigação	19
2.3	Relação de medidas acústico-instrumentais e sensoriais em alimentos crocantes	24
2.4	Inovações tecnológicas na ciência sensorial	27
3.	CONSIDERAÇÕES GERAIS	30
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31
	SEGUNDA PARTE	36
	ARTIGO 1 - Ambientes virtuais em pesquisas sensoriais e com consumidores: as aplicações atuais e o impacto da familiarização com as tecnologias digitais	37
	ARTIGO 2 - Potencial medida acústica biométrica e sua relação com respostas sensoriais do consumidor e instrumental	74

PRIMEIRA PARTE

1. INTRODUÇÃO

A percepção de sabor é de natureza inerentemente multissensorial. Qualquer entrada sensorial (paladar, olfato, visão, audição e tato) influencia potencialmente as percepções dos alimentos. Isto é, não respondemos, perceptivamente e hedonicamente, a estímulos isolados, mas a integração dos sentidos sensoriais (PRESCOTT, 2015). Neste contexto, as percepções auditivas provenientes dos sons produzidos pelo próprio alimento ou bebida são relevantes para avaliar e discriminar as propriedades texturais de um alimento (DUIZER, 2001).

Os alimentos crocantes secos, como cereais matinais, biscoitos, batatas chips e *wafers*, naturalmente emitem esse som característico ao morder e mastigá-los, sendo considerado um parâmetro de qualidade pelo consumidor (DUIZER, 2001; SPENCE, 2012). Desta forma, a perda de qualidade desse aspecto pode impactar diretamente o consumidor, gerando insatisfação e frustração na compra e consumo dos produtos.

Os métodos afetivos são as ferramentas mais utilizadas para entender sensorialmente a satisfação do público-alvo com o objetivo de medir o quanto gostam ou desgostam do produto, avaliando sua aceitabilidade e preferência (DUTCOSKY, 2013; VIEJO et al., 2019). A associação de medidas sensoriais e acústico-instrumentais tornaram-se as abordagens mais reconhecidas para a mensuração de parâmetros de textura no desenvolvimento de produtos e no controle de qualidade (ANDREANI et al., 2020; ÇARŞANBA; DUERRSCHMID; SCHLEINING, 2018; CHANVRIER et al., 2014; GOUYO et al., 2020; JAKUBCZYK; GONDEK; TRYZNO, 2017). Associado a estas medidas sensoriais e acústico-instrumentais, tem se buscado medidas biométricas que reflitam os processos fisiológicos humanos, como o processo mastigatório, e que sejam rápidas, não-invasivas, de baixo custo e confiáveis, para complementarem tais medidas.

A biometria engloba diferentes métodos usados para medir e analisar estatisticamente as características únicas do corpo humano como físicas, fisiológicas ou comportamentais. Dentro da ciência alimentar, oferecem a possibilidade de compreender os processos implícitos (psicológicos e fisiológicos) que podem contribuir para a escolha, ingestão e recompensa alimentar e ainda refletir as respostas motivacionais e afetivas em relação aos alimentos (ASHENAEI; BEHESHTI; REZAI, 2022; PEDERSEN et al., 2021).

As percepções extrínsecas aos alimentos também modulam a percepção multissensorial do sabor. O contexto de consumo dos alimentos como o ambiente, a localização, o tipo de sons (músicas), a iluminação, estar ou não acompanhado são exemplos contextuais importantes para a percepção multissensorial. As respostas cognitivas aos

estímulos alimentares são fundamentadas em experiências alimentares reais. As áreas do cérebro associadas ao sabor e recompensa alimentar tornam-se ativas, não apenas durante a degustação de alimentos reais, mas também durante a visualização de imagens da alimentação real em diferentes situações (CHEN; PAPIES; BARSALOU, 2016).

Em busca de contextos mais realistas e naturais e ainda com foco nos processos psicofisiológicos humanos, a realidade virtual (RV) e a realidade aumentada (RA), estão emergindo como tecnologias promissoras na simulação de diversos contextos e cenários para se obter respostas sensoriais. Na RV têm-se um ambiente totalmente simulado virtualmente, por meio, das tecnologias digitais diferente do mundo físico/real em que se encontra o participante, enquanto que na RA, as informações virtuais geradas por computador são sobrepostas à visão de uma pessoa no mundo físico/real (CHAI et al., 2022; CROFTON et al., 2019; WANG et al., 2021). As pesquisas sobre as aplicações dessas tecnologias na ciência sensorial têm mostrado resultados satisfatórios (CROFTON; MURRAY; BOTINESTEAN, 2021; LOW et al., 2021; OLIVER; HOLLIS, 2021; SINESIO et al., 2019; YANG et al., 2022).

Diante do exposto, as contribuições do presente estudo são: i) revisar os fundamentos básicos psicofisiológicos das tecnologias de RV e RA, assim como, suas aplicações recentes na ciência sensorial e do consumidor e o impacto da familiarização nas respostas sensoriais e ii) avaliar o desempenho de uma ferramenta biométrica sonora durante a mastigação de um alimento crocante para validá-la como uma técnica de medida acústica e para predizer as respostas sensoriais do consumidor com base no sinal acústico obtido.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A percepção multissensorial de alimentos

A sensação é definida como a resposta do receptor à estimulação corporal tal como, a resposta a temperatura, as substâncias químicas, aos estímulos físicos (pressão), as ondas luminosas, dentre outras. Ao passo que, a percepção é a consciência que surge, por meio, de um único sentido ou de uma combinação de vários sentidos. Ou seja, a percepção multissensorial de um alimento é o resultado de características alimentares interagindo com os sentidos humanos que são interpretadas pelo cérebro e, posteriormente, origina o reconhecimento e a compreensão do alimento em sua totalidade, com base em experiências anteriores (ENGELEN; VAN DER BILT, 2008).

Nos últimos anos, um corpo crescente de pesquisas tem destacado o quanto a percepção alimentar é guiada por uma variedade de fatores intrínsecos e extrínsecos ao alimento, relacionados com os sentidos humanos e suas interações multissensoriais. No estudo de Carvalho et al. (2017) avaliaram como as pistas auditivas (trilhas sonoras específicas) poderiam afetar a textura (cremosidade) e os gostos doce e amargo percebidos pelos avaliadores de chocolate. Os resultados demonstraram que a trilha sonora denominada como “trilha sonora cremosa/suave” (notas sonoras de flauta de longa duração) foi positivamente correlacionada a percepção de cremosidade e doçura dos chocolates comparada a “trilha sonora áspera” (notas sonoras de cordas de violino). Ou seja, os sons podem ter efeito sobre a percepção de atributos gustativos.

Os estímulos visuais também afetam a percepção multissensorial do sabor. No estudo de Zampini et al. (2007) investigaram a influência de sugestões de cores em respostas a discriminação de sabores, utilizando soluções coloridas apropriadamente ou inadequadamente ou ainda incolores com diferentes sabores. Os autores observaram que a precisão do desempenho de discriminação de sabor dos participantes foi significativamente menor quando as soluções foram coloridas de forma inadequada do que quando foram coloridas adequadamente ou incolores. Por exemplo, soluções com sabor de limão coloridas de laranja ou vermelho e soluções com sabor de laranja coloridas de verde ou vermelho foram discriminadas com menor precisão. Portanto, os autores pressupõem que existe efeito modulador dos estímulos visuais (diferentes cores) na identificação de percepção de sabor. Outros estudos também verificaram que a cor da xícara utilizada para servir cafés afetou significativamente os gostos esperados e percebidos, bem como, os julgamentos hedônicos de

cafés especiais na avaliação de consumidores. Além disso, a forma, a textura, o peso e outras propriedades do material no qual serve-se a bebida também influenciam na percepção multissensorial de cafés. Com isso, o design de xícaras pode melhorar a experiência de degustação multissensorial de cafés especiais para o consumidor (CARVALHO; SPENCE, 2019; SPENCE; CARVALHO, 2019).

Diante disso, destaca-se a necessidade de uma melhor compreensão da percepção dos alimentos pelo ser humano por meio dos sentidos humanos (visão, olfato, paladar, audição e tato), já que atuam de forma complexa para que o indivíduo seja capaz de distinguir os alimentos e as sensações (PEREIRA; VAN DER BILT, 2016).

2.1.1 Fisiologia da percepção dos aspectos sensoriais pelos sentidos humanos

A apreciação dos alimentos baseia-se na percepção combinada de aparência, aroma, sabor e textura dos alimentos. A aparência é um dos aspectos sensoriais mais importantes na escolha e aceitação de alimentos, visto que, é o primeiro contato direto com o produto alimentar e, por meio, do qual analisa-se a qualidade e o grau de aceitação do mesmo. Dentre os atributos de aparência, a cor permite a modulação da identidade do alimento e a percepção de intensidade de sabor, pois diante das características visuais, o consumidor cria certo grau de expectativa quanto ao sabor do mesmo (DUTCOSKY, 2013; PEREIRA; VAN DER BILT, 2016).

O receptor da visão é a retina que contém células especializadas denominadas de fotorreceptores. Ao atravessar a retina, a luz estimula esses fotorreceptores que, por sua vez, ativam os neurônios, cujos axônios são agrupados no nervo óptico. Então, essa luz é transformada em impulsos elétricos para serem enviados ao cérebro, gerando a resposta ao estímulo, ou seja, a interpretação da imagem (DUTCOSKY, 2013).

No ato de alimentar-se subsequente ao primeiro contato com a aparência, os aspectos sensoriais de sabor/gostos e aromas destacam-se na determinação de nossas experiências diárias com os alimentos (SPENCE; SHANKAR, 2010). O sabor pode ser definido como uma combinação complexa das sensações olfativas, gustativas e trigeminais percebidas durante a degustação, que podem ser influenciadas por efeitos tátil, térmico, doloroso e/ou cinestésico (DUTCOSKY, 2013; CARVALHO; SPENCE, 2019; PEREIRA; VAN DER BILT, 2016).

As sensações olfativas correspondem ao aroma que é definido como misturas complexas de moléculas voláteis odoríferas liberadas na boca no momento da mastigação do alimento, sendo percebido pelas narinas posteriores da nasofaringe durante a exalação

respiratória ou após deglutição. O sistema olfatório possui receptores que correspondem a milhões de neurônios com microvilosidades que se projetam para a superfície do epitélio como cílios. O reconhecimento do aroma ocorre quando os axônios (fibras nervosas do nervo olfatório) conduzem o estímulo químico para sinapses nos bulbos olfatórios, permitindo a discriminação de odores e a ativação de componentes afetivos que contribuem para o reconhecimento do aroma diante de emoções estimuladas para um odor particular e o armazenamento de informações na memória olfativa (DUTCOSKY, 2013).

Os mecanismos intracelulares para estimulação dos receptores olfatórios são semelhantes aos receptores acoplados a proteína G no paladar. Os componentes químicos ligam-se aos receptores que resulta na ativação das proteínas G desencadeando mudanças na concentração de cargas no meio intracelular, ou seja, ocorre influxo de íons com a abertura dos canais de íons de Na^+ e Ca^{2+} , aumentando a quantidade intracelular de íons positivos. A alteração na concentração dos íons provoca a despolarização, gerando um potencial elétrico que percorre ao longo dos axônios, culminando em sinapses nos bulbos olfatórios e promovendo o envio de mensagens elétricas para o cérebro. Por sua vez, o cérebro interpreta o sinal e a resposta é o reconhecimento do aroma (LAWLESS; HEYMANN, 2010; PEREIRA; VAN DER BILT, 2016).

Já a percepção do gosto inicia-se com a interação entre as substâncias químicas do alimento com células receptoras gustativas presentes predominantemente na superfície da língua e do palato, mas também são detectadas no esôfago e nas bochechas (PEREIRA; VAN DER BILT, 2016). A papila gustativa constitui-se por um botão gustativo formado de um conjunto de células receptoras gustativas (50 – 100 células), as quais, os componentes químicos se ligam para que ocorra a transdução de sinais, liberando os neurotransmissores por meio de sinapses, dando assim origem ao estímulo nervoso (DUTCOSKY, 2013; PEREIRA; VAN DER BILT, 2016). As células receptoras gustativas podem ser classificadas em quatro tipos, sendo: tipo I (escura), tipo II (clara), tipo III (intermediária – células alongadas e fusiformes) e tipo IV que apresentam formato arredondadas localizadas no fundo das papilas gustativas e são progenitoras de outros tipos de células receptoras gustativas. As células do tipo II são responsáveis por detectarem predominante os gostos doce, amargo e umami, enquanto do tipo III detectam os gostos ácido e salgado (YAMAMOTO; ISHIMARU, 2013; PEREIRA; VAN DER BILT, 2016).

O gosto doce, amargo e umami são percebidos por receptores específicos pertencentes a duas famílias de receptores acoplados à proteína G, sendo: T1R e T2R. Para a transdução do gosto doce, os receptores dependem da combinação de duas subunidades diferentes dessas

proteínas pertencentes à família T1R, originando T1R2 e T1R3, assim como, para o umami em que se têm T1R1 e T1R3. Já em relação ao amargo, os responsáveis pela percepção desse gosto pertencem a família de proteínas T2R com aproximadamente 30 membros distintos (BALDO, 2013; YAMAMOTO; ISHIMARU, 2013).

A transdução dos sinais gustativos difere entre os estímulos, uma vez que, as substâncias de sensação de gostos salgados (íons Na^+) e ácidos (azedos) (íons H^+) atuam diretamente nos canais iônicos das células receptoras gustativas, enquanto os responsáveis por doces, amargos e umami ligam-se aos receptores superficiais (proteína G) que promovem uma cascata de transdução de sinais intracelulares. Porém, a etapa final de todos os gostos culmina na abertura e fechamento de canais iônicos com acúmulo de cargas positivas no interior da célula que se traduzem em sinais químicos (despolarização) e, finalmente, em estímulos cerebrais (YAMAMOTO; ISHIMARU, 2013; PEREIRA; VAN DER BILT, 2016).

Ademais as informações gustativas e olfativas, também existem uma variedade de sensações induzidas quimicamente que podem ser percebidas nas cavidades oral, nasal e na pele, e que não são classificadas tradicionalmente como gostos ou aromas. Esses tipos de sensações, tais como térmicas (quente e frio), dor, pressão (táteis), adstringência, picância, refrescância, pungência, dentre outras, são provocadas pela irritação química com a estimulação das terminações do nervo trigêmeo e que também influenciam diretamente a percepção do alimento em sua totalidade (LAWLESS; HEYMANN, 2010; DUTCOSKY, 2013).

O sistema sensorial somático identifica quatro principais modalidades de irritações químicas, a saber: táteis (toque), térmicas, nociceptores (dor) e propriocepção, sendo que os receptores são estruturas específicas para distinguir tipos específicos de estímulos. Os principais tipos de receptores classificam-se em químicos (respostas a sabor e odor/aroma), mecanorreceptores (respostas a estímulos táteis), termorreceptores (respostas a estímulos térmicos – quente e frio) e nociceptores (resposta à dor) (ENGELLEN; VAN DER BILT, 2008; PEREIRA; VAN DER BILT, 2016).

Quanto a propriedade sensorial de textura, está relacionada ao sentido do tato, que é responsável pelas informações de forma geométrica ou figura, peso, temperatura e a consistência de um produto na boca e na mão. Essas informações táteis despertadas no manuseio do alimento complementam a informação que chega pelo sentido da visão. Na boca, os receptores do tato, localizados nos lábios, nas bochechas, nas gengivas, na língua e no palato são extremamente sensíveis e com capacidade de discriminar as partículas. O alimento é movimentado pela língua, ocasionando uma pressão entre o mesmo e o palato com

consequente resposta à essa pressão. Os dentes também desempenham papel importante, uma vez que, as ramificações do nervo dental são sensíveis a pressões (DUTCOSKY, 2013). Durante o processamento oral, a estrutura do alimento é quebrada com a força aplicada pelos dentes e/ou a língua (quebra mecânica) e lubrificada com a saliva (hidratada ou dissolvida), ocorrendo uma atividade motora rítmica controlada pelo sistema nervoso central e modulada por *feedback* sensorial de mecanorreceptores localizados na boca (PASCUA; KOÇ; FOEGEDING, 2013).

Em relação as sensações percebidas na mão (pele), as informações entre o sistema nervoso e a pele ocorre por meio de componentes químicos denominados de neuropeptídios, que são enviadas ao cérebro pelos mediadores químicos originando uma resposta (DUTCOSKY, 2013).

Além disso, a percepção sensorial de textura também é influenciada diretamente pelo sentido da audição. O som produzido pelo comportamento de quebra de um alimento no processo de mordida e mastigação percebido pelo sistema auditivo é preditor de propriedades mecânicas dos alimentos (PEREIRA; VAN DER BILT, 2016; DUTCOSKY, 2013). O ouvido interno é o receptor que apresenta sensibilidade a vibrações de 10^{-4} Hz de intensidade, sendo responsável por captar as vibrações de mastigação e deglutição dos alimentos tanto pelo ar quanto pela via óssea (DUTCOSKY, 2013).

O ouvido do ser humano capta a onda sonora por condução aérea ao ouvido e condução óssea por meio da mandíbula assim como pelo tecido mole das bochechas e da língua. A onda sonora caracteriza-se como o movimento de moléculas de ar individuais em torno do ponto de equilíbrio, ou seja, quando uma molécula é deslocada de seu equilíbrio provoca o deslocamento de outras moléculas ao seu redor, fazendo as moléculas circundantes vibrarem. A movimentação das moléculas ocasiona a propagação de uma onda sonora que ao atingir o ouvido percorre o canal auditivo desencadeando vibrações no tímpano e, conseqüentemente, ativa o movimento dos ossículos na membrana do tambor que transfere a onda para o ouvido interno (DUIZER, 2001).

No ouvido interno ocorre a divisão da onda em frequências que geram impulsos nervosos transmitidos pelo nervo auditivo ao centro de audição do córtex cerebral e, assim, a composição dessas frequências contribui para a percepção subjetiva de volume e altura do som e, por conseguinte, a resposta ao estímulo. Os sons conduzidos pelos ossos apresentam baixas frequências devido à absorção de som pelo tecido mole da boca e pela mandíbula, isto é, o tecido mole funciona como amortecedor do som produzido ao mastigar os alimentos (DUIZER, 2001).

Por fim, reforça-se que a percepção de qualquer alimento é uma experiência multimodal, ou seja, um processo em que sinais de modalidades distintas são integrados para formar percepções unitárias (FONDBERG et al., 2018). As representações de cada modalidade (paladar, visão, olfato, audição e tato) são reunidas simultaneamente em regiões multimodais do cérebro e integrados para formar uma imagem completa, ou seja, a percepção (ENGELLEN; VAN DER BILT, 2008).

2.2 Fisiologia da mastigação

A fisiologia da mastigação envolve um conjunto complexo e amplo de estruturas da face, cabeça e pescoço denominado de aparelho estomatognático (AEG), cuja etiologia da palavra deriva do grego *stóma* que se refere à boca e *gnáthos*, à mandíbula, sendo de grande relevância as estruturas: dentes, periodonto, músculos (da face, da mandíbula e língua), maxila e mandíbula, articulação temporomandibular, a inervação e vascularização do aparelho. As principais funções desempenhadas pelo aparelho na espécie humana dizem respeito a mastigação, sucção, deglutição, respiração, comunicação e digestão. O adequado funcionamento do aparelho não acontece de forma isolada, mas em um processo altamente coordenado, interligado entre si e também com outras estruturas de sistemas fisiológicos externos que agem harmoniosamente na realização de várias funções (GUIMARÃES; REGATÃO; BALDO, 2013).

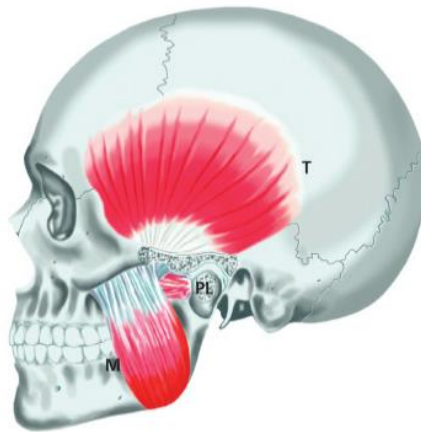
O processamento oral de alimentos é a fase inicial e fundamental no processo de digestão, que visa preparar o alimento para que possa ser engolido e digerido, assim como, ocorre nessa fase em que o alimento ainda se encontra na cavidade oral (boca), a percepção sensorial (JOURDREN et al., 2016; PEREIRA et al., 2007; VAN DER BILT et al., 2006). Esse processamento envolve principalmente a mandíbula superior (maxilar) e inferior (mandíbula), a língua e, em menor extensão, as bochechas e os lábios (FOSTER et al., 2011).

O caráter fisiológico da dinâmica alimentar pode ser resumido em três características típicas: um padrão rítmico de movimento da mandíbula (abertura e fechamento); uma explosão/repouso regulares e coordenados dos músculos orofaciais e uma secreção contínua de saliva. Os músculos masseteres são responsáveis pelo fechamento (elevação) da mandíbula e pela força de compressão do alimento (CHEN, 2014).

O masseter é um músculo forte, grosso e retangular composto por um feixe superficial e outro profundo. Esse músculo é o responsável por proporcionar maior força mastigatória, pois possui maior número de fibras musculares quando comparado ao temporal. Enquanto o

músculo temporal destaca-se principalmente pelo posicionamento postural mandibular, atuando no estabelecimento da posição maxilomandibular (FIGURA 1). Durante a fase de depressão da mandíbula (abertura da boca), os músculos de abertura (principalmente os digástricos) tornam-se ativos, enquanto os músculos de fechamento permaneceram em repouso. Posteriormente no fechamento mandibular, o masseter torna-se ativo quando não há resistência e na presença de algum tipo de resistência, incrementa-se também a ação do músculo temporal (AMORIM; SANIOTO, 2013; CHEN, 2014).

Figura 1 - Visão anatômica dos músculos levantadores da mandíbula.



Legenda: M: músculo masseter; T: temporal; PL: pterigoideo lateral.
Fonte: Amorim e Sanioto (2013).

O ato de mastigar para os seres humanos é um comportamento complexo, rítmico e aprendido, realizado por uma série de movimentos sincronizados coordenados pelo aparelho estomatognático (ALMOTAIRY et al., 2018). É um processo que envolve uma série de ciclos mastigatórios que consistem na fragmentação do alimento com a redução em partículas menores que sucessiva ou simultaneamente são umedecidas, lubrificadas e ligadas pela saliva, formando o bolo alimentar, assim sendo facilmente engolido (JOURDREN et al., 2016; PEREIRA et al., 2007; VAN DER BILT et al., 2006).

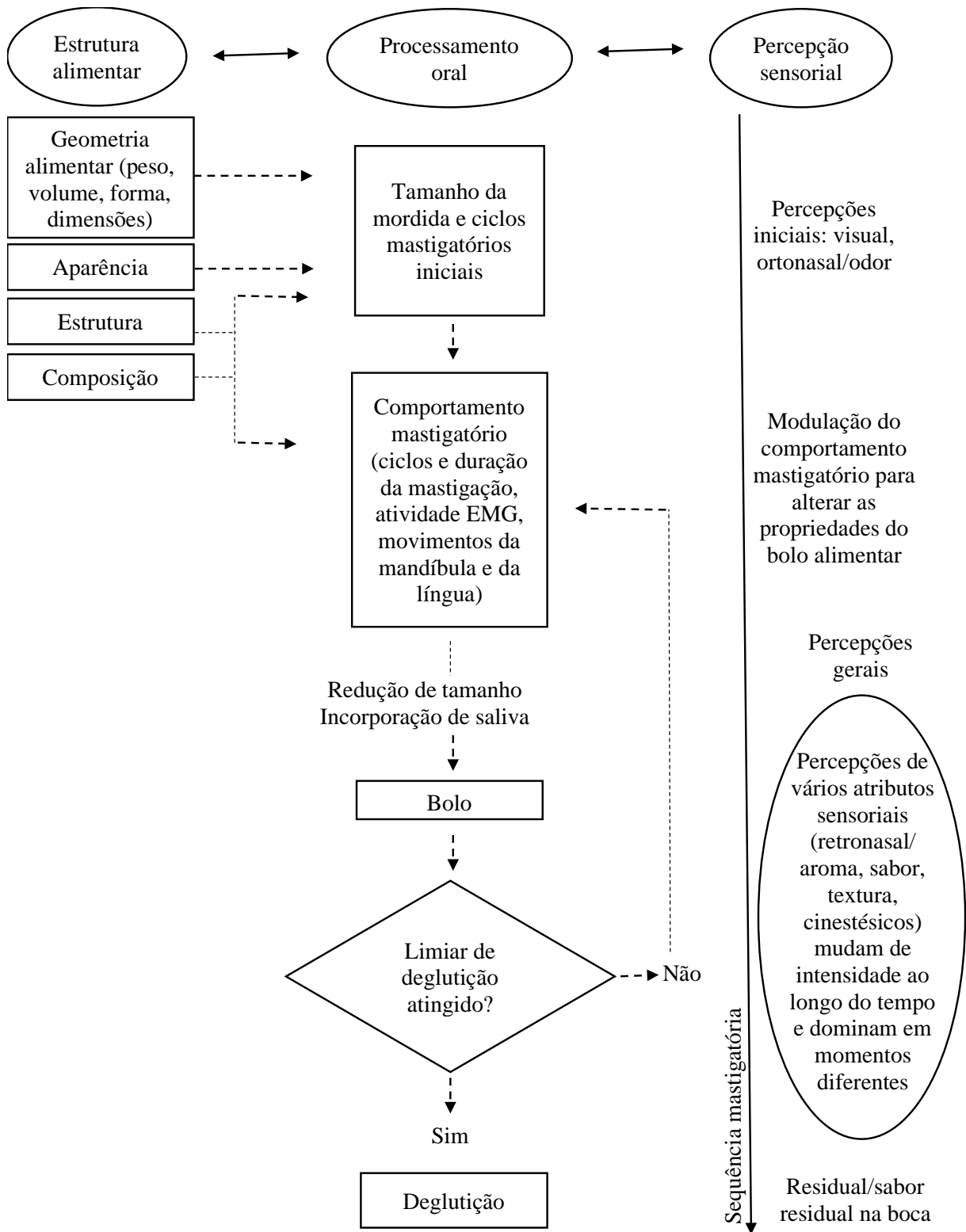
No primeiro estágio de transporte ocorre a abertura mandibular e a transferência do alimento da frente da boca (garra) ou da primeira mordida para a posição dos dentes laterais (molares) com o intuito de reduzir o tamanho do alimento. Em seguida, o alimento é processado por uma série de ciclos mastigatórios necessários para fragmentar e amaciar o alimento denominado de estágio de processamento do alimento. Por fim, tem-se o estágio II de transporte, quando o alimento apresenta tamanho bastante reduzido, e é impulsionado para uma estrutura no fundo da cavidade oral nomeada de orofaringe, responsável pela

comunicação da boca com a garganta. O alimento se acumula na orofaringe até ser finalmente engolido (CHEN 2009; VAN DER BILT et al., 2006; FOSTER et al., 2011).

Inúmeros fatores influenciam o processo mastigatório tais como a dentição, atividade muscular e força de mordida, fluxo salivar, as características inerentes aos alimentos (propriedades físico-químicas e mecânicas), individualidade (sexo, idade, estado de saúde, etc.), dentre outros. O processamento oral dos alimentos que se inicia com a primeira mordida (força, resistência e velocidade aplicada), é diretamente relacionada com as propriedades intrínsecas do alimento (mecânica, geométrica, composição etc.), assim como, a força de mordida e a atividade muscular da mandíbula, uma vez que, se requer mais atividade muscular para alimentos mais duros e resistentes (CHEN 2009, PEREIRA; VAN DER BILT, 2016) (FIGURA 2). Os alimentos crocantes quando mastigados provocam movimentos de aceleração e desaceleração da mandíbula como resultado da resistência e quebra de partículas do alimento e a produção de um som característico da quebra. Portanto, os músculos da mandíbula geram a força de mastigação necessária para quebrar o alimento (VAN DER BILT et al., 2011).

Na Figura 2 está apresentada a influência dos fatores inerentes aos alimentos sobre o processamento oral e a percepção sensorial de acordo com Foster et al. (2011), com adaptações. Segundo os autores, a mastigação fornece *feedback* sensorial do qual derivam as percepções de textura e sabor. A influência das propriedades dos alimentos no processamento oral e na liberação do sabor são percebidas durante a primeira mordida, sequência mastigatória, até a completa deglutição.

Figura 2 - Visão geral das interações entre as propriedades inerentes ao alimento, processamento oral e percepção sensorial.



Fonte: Foster et al. (2011), adaptado.

No estudo realizado por Çakir et al. (2012) investigaram os efeitos de diferentes texturas utilizando queijos cheddar com baixo, reduzido e conteúdo total de gordura (3, 18 e 33%, respectivamente) e duas formulações de caramelos (leite desnatado, leite condensado e as concentrações de 10 e 30% óleo de semente de palma) na adaptação do padrão mastigatório. Os autores verificaram que a redução de gordura dos queijos resultou em aumento da dureza e percepção de elasticidade, ocasionando um ajuste no processamento oral dos diferentes queijos com aumento da atividade muscular, maior tempo e número de mastigações. Em relação aos caramelos, o aumento da adesividade foi associado ao aumento da atividade muscular, maior duração do ciclo e aumento do movimento da mandíbula. Portanto, as alterações nas composições das matrizes alimentares de queijos cheddar e de caramelos que acarretaram mudanças na textura dos alimentos, influenciaram os parâmetros de processamento oral da atividade muscular e do movimento da mandíbula.

No estudo de Morell et al. (2018) avaliaram se diferentes composições de iogurtes em relação as concentrações de fontes de proteína e adição de cubos de maçã alteravam as atividades de processamento oral. Os resultados indicaram que as atividades dos músculos da mandíbula eram altamente dependentes do tipo de iogurte, uma vez que, a adição de cubos de maçã alterou significativamente o padrão de processamento oral com um aumento do tempo, do número de mastigações e da atividade muscular, enquanto que mudanças na quantidade e na fonte de proteína afetaram em menor extensão as propriedades comportamentais, reológicas e sensoriais dos iogurtes.

De acordo com Pereira et al. (2006), os produtos secos e duros exigem mais ciclos de mastigação antes de serem engolidos, ou seja, é necessário mais tempo para quebrar o alimento e adicionar saliva suficiente para se obter um bolo adequado para engolir. Os autores investigaram o efeito da adição de fluidos (água e solução de α -amilase) em diferentes concentrações a alimentos sólidos (torradas, bolo, cenoura, amendoim e queijo tipo gouda) sobre a fisiologia da mastigação, percepção sensorial de textura e som, utilizando uma escala analógica visual. Observou-se que a adição de líquidos facilitou a mastigação de alimentos secos (torradas, bolos e amendoim), reduzindo significativamente a atividade muscular e o limiar de deglutição, mas não influenciou na mastigação do produto gorduroso (queijo) e úmido (cenoura). O tipo de fluido (água ou solução de α -amilase) apresentou uma influência semelhante na percepção e na fisiologia oral, enquanto que a concentração foi significativa nas variáveis estudadas. A percepção sensorial de textura e som foram afetados significativamente pela adição dos fluidos.

Portanto, os movimentos da mandíbula e as atividades dos músculos mastigatórios são modulados ao longo de toda a sequência mastigatória com relação às propriedades inerentes aos alimentos.

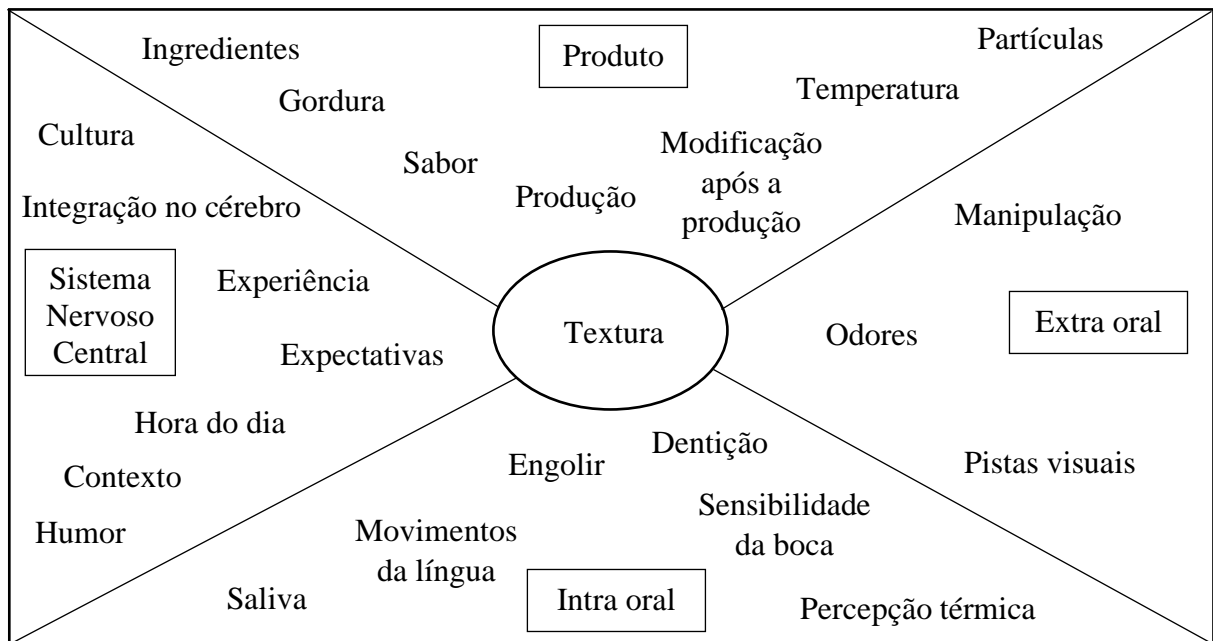
2.3 Relação de medidas acústico-instrumentais e sensoriais em alimentos crocantes

A escolha e a aquisição de produtos alimentícios pelos consumidores são influenciadas por diversos fatores, entre eles, as propriedades texturais servem como indicadores importantes da qualidade do alimento e contribuem para sua aceitabilidade, especialmente quando diz respeito aos alimentos com texturas sólidas ou semissólidas (DUIZER, 2001; PASCUA; KOÇ; FOEGEDING, 2013; PEREIRA et al., 2016). Ao contrário do aroma e do gosto para os quais as sensações estão associadas a estruturas moleculares específicas, a textura dos alimentos é uma propriedade cognitiva com base na interação dos nossos sentidos e a comida (PASCUA; KOÇ; FOEGEDING, 2013).

O conceito de textura é considerado complexo pela literatura e definido em termos gerais como a manifestação sensorial da estrutura de um alimento e a maneira pela qual essa estrutura reage às forças aplicadas, sendo os sentidos específicos envolvidos o tato (cinestesia e sensação na boca), a visão e a audição. Ou seja, a combinação de propriedades físicas do alimento tais como tamanho, forma, natureza e conformação dos elementos estruturais e como essas características são percebidas pelos sentidos humanos (ENGELLEN; VAN DER BILT, 2008; PEREIRA et al., 2016). Apesar que a maior parte das sensações associadas à textura dos alimentos acontece somente quando o mesmo é manipulado, deformado ou movido por meio dos receptores orais devido as inúmeras transformações que ocorrem no processamento oral (manipulação, mistura e diluição) (ENGELLEN; VAN DER BILT, 2008). Portanto, a percepção de textura inicia-se com a avaliação visual, primeira mordida, mastigação, deglutição e propriedades residuais (DE LAVERGNE et al., 2015).

De acordo com Engelen e Van Der Bilt (2008), a percepção da textura é influenciada de forma direta ou indiretamente por inúmeros fatores inerentes ao próprio alimento, assim como, ao processamento oral com variações interindividuais, o que torna o conceito de textura extremamente complexo, conforme observado na Figura 3.

Figura 3 – Diagrama de fatores que podem influenciar a percepção da textura do alimento de acordo com Engelen e Van Der Bilt (2008).



Fonte: Engelen e Van Der Bilt (2008), adaptado.

Os ingredientes (por exemplo, espessantes, concentração de gordura e água), o tamanho das partículas, técnicas de produção (homogeneização, cozimento, congelamento), as modificações após a produção e a temperatura são determinantes na estrutura do produto final e também nas características sensoriais (ENGELEN; VAN DER BILT, 2008).

Entre os atributos de textura, a crocância é uma das propriedades sensoriais utilizada pelos consumidores para o reconhecimento de qualidade, aceitação e compra do produto, relacionado ao comportamento de fratura dependente da estrutura do alimento e à emissão sonora ao morder e/ou comer o alimento com efeito positivo na percepção de sabor (DUIZER, 2001; POCZTARUK et al., 2011; ÇARŞANBA; DUERRSCHMID; SCHLEINING, 2018). Os vegetais e as frutas, tais como a alface e a maçã, apresentam fluidos dentro de suas células que pressiona para fora da parede celular, enquanto a parede se opõe a essa força. Quando as células são quebradas, o conteúdo se expande rapidamente, sendo liberado e produz uma onda de pressão sonora e, conseqüentemente, esse som resultante é o responsável pela percepção de crocância (DUIZER, 2001).

Em produtos secos, como a batata frita, *snacks* e biscoitos tipo *wafers*, estes apresentam cavidades cheias de ar rodeadas por paredes frágeis que sob aplicação de uma força contínua, elas se dobram e simultaneamente se quebram. Este movimento desencadeia vibrações que

geram uma onda de pressão sonora. Para produtos crocantes, o som produzido pode ser devido à ruptura de uma célula ou de muitas células enquanto que produtos crocantes secos, por exemplo, batatas fritas, é a fratura repetida das finas paredes que contribui para o som (DUIZER, 2001).

A literatura sugere as metodologias sensoriais descritivas e dinâmicas, tais como a análise de perfil de textura, a análise descritiva quantitativa (ADQ), o tempo-intensidade (TI) e a dominância temporal das sensações (TDS), como ferramentas adequadas e eficazes para descreverem o perfil de textura e as mudanças durante todo o processamento oral dos alimentos (WILKINSON; DIJKSTERHUIS; MINEKUS, 2000; LENFANT et al., 2009; DE LAVERGNE et al., 2015). Essas metodologias sensoriais associadas aos parâmetros instrumentais e acústicos são utilizadas para se obter medidas objetivas (DUIZER, 2001). A gravação de sons e/ou o padrão de tensão/deformação produzido durante a aplicação de uma força a um produto que produz som (barulhento) é uma maneira experimental de obter informações quantitativas sobre sons nítidos e, assim, prever a sensação sensorial de crocância (PIAZZA; GIOVENZANA, 2015).

No estudo realizado por Piazza e Giovenzana (2015) verificaram que os parâmetros acústicos obtidos da primeira mordida humana não foram capazes de discriminar as maçãs em termos de crocância, mas houve uma boa separação entre os grupos de cultivares pela relação do padrão de força-deformação aplicado pelos dentes e a ressonância na cavidade oral. As análises de textura acoplada ao rastreamento acústico e mecânico foram eficientes para distinguir as variedades de maçãs com base no atributo de crocância, pois sempre que o tecido da maçã se deforma, uma explosão de energia acústica foi emitida e é a sequência dessas pequenas explosões que o consumidor percebe como um som crocante.

Jakubczyk, Gondek e Tryzno (2017) investigaram a complexidade do atributo textura de cereais coextrusados com diferentes recheios quanto as relações entre a análise sensorial, técnicas físicas e instrumentais (mecânicas e acústicas). Os autores observaram que os parâmetros acústicos foram altamente correlacionados com os atributos sensoriais que descreviam sons gerados durante a mordida de amostras extrusadas (crocância, tom sonoro, duração do som, ruído) descritos pelo painel com exceção de dureza.

Çarşanba, Duerrschimid e Schleining (2018) também encontraram resultados satisfatórios em relação à correlação de descritores sensoriais e parâmetros instrumentais (mecânicos e acústicos) para atributos de textura de biscoito tipo *wafel* com diferentes qualidades. Para os resultados mecânico-acústico, observaram que curvas de força altamente irregulares e numerosos picos acústicos com altos valores de amplitude, mostraram um caráter

crocante das nove amostras de biscoito tipo *wafel* avaliadas. Quanto à correlação dos parâmetros sensoriais e mecânico-acústico, observaram correlação da crocância sensorial com três parâmetros acústicos (número de picos sonoros, pressão sonora máxima e área sob a curva de deslocamento do som) para o teste de flexão de 3 pontos e dois parâmetros (área sob a curva de deslocamento do som e pressão sonora média) no teste de cisalhamento.

O princípio comum dos estudos anteriores e aos encontrados na literatura pressupõe-se que uma das formas de se avaliar a textura dos alimentos é pelo som gerado enquanto se mastiga o alimento na boca, porém, em geral, utilizaram um microfone acoplado ao texturômetro e/ou posicionado próximo à boca do avaliador na cabine para capturar o som da primeira mordida. No entanto, a utilização do microfone para gravar sons de mastigação dos membros do painel apresenta desvantagens, tais como, as variações no desempenho do microfone, as condições experimentais (tamanho da sala, arranjo do equipamento auditivo, ruído ambiental), e principalmente, as limitações quanto a simulação real do processamento oral, o qual, influencia diretamente na percepção de textura do alimento (IWATANI; AKIMOTO; SAKURAI, 2013). Assim sendo, é essencial buscar por ferramentas complementares ou alternativas aos métodos instrumentais utilizados e que consigam simular o processamento oral de forma mais eficaz.

2.4 Inovações tecnológicas na ciência sensorial

A análise sensorial é uma ciência aplicada para obter, medir, avaliar e interpretar as reações e percepções dos avaliadores às características de alimentos, bebidas, produtos não alimentícios e serviços, por meio, dos sentidos humanos (VIEJO et al., 2019). A qualidade sensorial depende tanto das características sensoriais intrínsecas do alimento quanto de como os consumidores as percebem e dos fatores extrínsecos no momento do consumo. Assim, as metodologias sensoriais buscam avaliar os aspectos qualitativos e/ou quantitativos e aceitação dos produtos (VIEJO et al., 2019). Mas, a ingestão e as escolhas alimentares vão muito além da qualidade sensorial, são determinadas pela complexa interação de processos homeostáticos com os hedônicos. Esses processos consistem em vários fatores cognitivos, sensoriais e metabólicos, como o prazer sensorial, estado de fome metabólica e o conhecimento sobre os alimentos (PEDERSEN et al., 2021).

Nesse contexto, surge uma nova tendência na ciência sensorial com o uso de técnicas emergentes que complementam as respostas sensoriais, por meio, de mecanismos psicofisiológicos. Ao encontro dessa busca por compreender melhor o ser humano enquanto

instrumento de medida e seus processos implícitos que desencadeiam a percepção sensorial, os avanços nas tecnologias digitais também têm levado a uma transformação digital na ciência com oportunidades para coletar novos tipos de respostas sensoriais e inovar no processamento de dados.

A biometria é uma das técnicas emergentes que engloba diferentes métodos usados para medir e analisar estatisticamente as características únicas do corpo humano como físicas, fisiológicas ou comportamentais. Pode-se citar as impressões digitais, scanners de face ou retina, reconhecimento de voz, rastreamento ocular, eletroencefalograma (EEG) e eletromiograma (EMG) entre os métodos mais utilizados (ASHENAEI; BEHESHTI; REZAI, 2022; VIEJO et al., 2019). As pesquisas também tem avançado em aplicações biométricas para obter respostas do sistema nervoso autônomo (SNA), que está relacionado às respostas inconscientes do corpo humano, como condutância da pele, frequência cardíaca, temperatura corporal e níveis respiratórios, associados à fatores emocionais, excitação e estresse (VIEJO et al., 2019).

A utilização de testes afetivos aliados a essas técnicas biométricas mostrou-se uma ferramenta confiável e rápida a ser aplicada à degustação de cervejas para se obter mais informações da aceitação, fisiologia, comportamento e respostas cognitivas dos consumidores. As respostas sensoriais dos avaliadores se correlacionaram com os dados biométricos, sendo negativa entre a temperatura corporal e os atributos sensoriais de altura e estabilidade da espuma da cerveja e positiva entre os sinais cerebrais e amargor. As respostas biométricas ainda podem ser utilizadas como entrada em modelos para classificar cervejas com alta precisão em relação a características sensoriais (VIEJO et al., 2019).

As respostas biométricas também podem contribuir para o conhecimento dos processos psicofisiológicos que são ativados antes e durante a ingestão de alimentos e que direcionam as escolhas e preferências alimentares dos consumidores. O estudo realizado por Pedersen et al. (2021) aponta que a atenção visual é diferente para alimentos com variação nos teores de gordura e sabor antes do consumidor tomar decisões rápidas de escolha de alimentos, confirmando que aparência é usada e relacionada à avaliação hedônica de alimentos. Além disso, também observaram que alimentos menos apreciados provocaram expressões faciais negativas mais fortes.

A associação da biometria (EEG) com a avaliação sensorial ainda podem direcionar o mercado de frutas na aplicação de revestimentos de óleos essenciais para melhorar a aceitação de sabor da fruta com base na atividade do cérebro humano (PHOTHISUWAN et al., 2021).

Outro caminho que tende a progredir a fim de acompanhar a evolução digital vivida nos últimos anos são as ferramentas eletrônicas e digitais usadas para adquirir, armazenar e analisar dados, possibilitando a automação dos processos. As pesquisas têm usado a realidade virtual, aumentada ou mista para permitir que os consumidores avaliem alimentos ou bebidas em diferentes ambientes e contextos e avaliem seus efeitos na aceitabilidade dos produtos (FUENTES; TONGSON; GONZALEZ VIEJO, 2021). Os exemplos que empregam ambientes virtuais em estudos sensoriais e de consumo de alimentos e um aprofundamento dos fundamentos básicos dessas tecnologias serão discutidos no artigo 1.

Por fim, os avanços se estendem no campo de processamento de dados com a implementação de ferramentas baseadas em técnicas de inteligência artificial (IA) com inúmeras possibilidades de aplicação, gerando novos insights na ciência e, ainda, permitindo a aquisição de uma grande quantidade de dados. A maioria dos estudos na área de análise sensorial se concentra no uso de inteligência artificial para a previsão de modelos e/ou classificação de respostas sensoriais a partir de medidas químicas, físicas, físico-químicas e biométricas (respostas inconscientes) em frutas (RIBEIRO et al., 2021, 2022), cervejas (VIEJO et al., 2018, 2019), queijo (CURTO et al., 2020) e cafés especiais (CHANG et al., 2021), entre outros. Os estudos obtiveram resultados satisfatórios, confirmando a eficiência da IA na tarefa de predição, entretanto, de acordo com Ribeiro et al. (2022) é importante ter clareza de que não existe um algoritmo único que supere todos os outros na previsão da resposta do consumidor. É necessário selecionar, otimizar e comparar diferentes algoritmos para construir um modelo de sucesso na previsão da resposta do consumidor.

3. CONSIDERAÇÕES GERAIS

Os avanços tecnológicos tem permitido que a ciência sensorial aprofunde o conhecimento dos processos fisiológicos e psicológicos envolvidos na percepção multissensorial dos alimentos. Os estímulos sensoriais relacionados com o próprio alimento e o contexto de consumo desencadeiam vários processos fisiológicos simultâneos que, em conjunto, atuam na aceitação dos alimentos, ainda que, de forma inconsciente. Como, por exemplo, fisiologicamente, o processo mastigatório atua na percepção de textura de alimentos crocantes que reflete na satisfação do consumidor.

A análise sensorial é uma ferramenta estratégica para as indústrias que buscam atender as necessidades e os anseios de seus consumidores e para se manterem em um mercado cada vez mais competitivo. Por isso, torna-se fundamental investigar o uso de técnicas emergentes, que potencialmente podem melhorar as estratégias de gestão no desenvolvimento de produtos e no controle de qualidade, com base em respostas biométricas e aceitabilidade dos produtos pelos consumidores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMOTAIRY, N. et al. Development of the jaw sensorimotor control and chewing - a systematic review. **Physiology & Behavior**, v. 194, p. 456-465, Oct. 2018.
- AMORIM, J. B. O.; SANIOTO, S. M. L. Motricidade do aparelho estomatognático: mastigação e deglutição. In: BALDO, M. V. C.; REGATÃO, M. C. **Fisiologia oral**. 1. ed. São Paulo: Santos, 2013. cap. 4, 192 p.
- ANDREANI, P. et al. Spectrum crispness sensory scale correlation with instrumental acoustic high-sampling rate and mechanical analyses. **Food Research International**, v. 129, p. 108886, Nov. 2020.
- ASHENAEI, R.; BEHESHTI, A. A.; REZAI, T. Y. Stable EEG-Based biometric system using functional connectivity based on Time-Frequency features with optimal channels. **Biomedical Signal Processing and Control**, v. 77, p. 103790, 2022.
- BALDO, M. V. C. Sensibilidade do aparelho estomatognático. Gustação e olfação. In: BALDO, M. V. C.; REGATÃO, M. C. **Fisiologia oral**. 1. ed. São Paulo: Santos, 2013. cap. 2, 192 p.
- ÇAKIR, E. et al. Interrelations among physical characteristics, sensory perception and oral processing of protein-based soft-solid structures. **Food Hydrocolloids**, v. 29, n. 1, p. 234-245, Oct. 2012a.
- ÇAKIR, E. et al. Evaluation of texture changes due to compositional differences using oral processing. **Journal of Texture Studies**, v. 43, n. 4, p. 257-267, Nov. 2012b.
- ÇARŞANBA, E.; DUERRSCHMID, K.; SCHLEINING, G. Assessment of acoustic-mechanical measurements for crispness of wafer products. **Journal of Food Engineering**, v. 229, p. 93-101, Jul. 2018.
- CARVALHO, F. M.; SPENCE, C. Cup colour influences consumers' expectations and experience on tasting specialty coffee. **Food Quality and Preference**, v. 75, p. 157-169, Jul. 2019.
- CARVALHO, F. R. et al. "Smooth operator": Music modulates the perceived creaminess, sweetness, and bitterness of chocolate. **Appetite**, v. 108, p. 383-390, Jan. 2017.
- CHAI, J. J. K.; O'SULLIVAN, C.; GOWEN, A. A.; ROONEY, B.; XU, J. L. Augmented/mixed reality technologies for food: A review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 124, p. 182-194, 2022.
- CHANG, Y. T. et al. Prediction of specialty coffee flavors based on near-infrared spectra using machine- and deep-learning methods. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 101, n. 11, p. 4705-4714, 2021.
- CHANVRIER, H. et al. Insights into the texture of extruded cereals: Structure and acoustic properties. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 24, p. 61-68, 2014.

CHEN, J. Food oral processing - A review. **Food Hydrocolloids**, v. 23, n. 1, p. 1-25, Jan. 2009.

CHEN, J. Food oral processing: Some important underpinning principles of eating and sensory perception. **Food Structure**, v. 1, n. 2, p. 91-105, Apr. 2014.

CHEN, J.; PAPIES, E. K.; BARSALOU, L. W. A core eating network and its modulations underlie diverse eating phenomena. **Brain and Cognition**, v. 110, p. 20–42, 2016.

CROFTON, E. C.; BOTINESTEAN, C; FENELON, M.; GALLAGHER, E. Potential applications for virtual and augmented reality technologies in sensory science. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 56, p. 102178, 2019.

CROFTON, E.; MURRAY, N.; BOTINESTEAN, C. Exploring the Effects of Immersive Virtual Reality Environments on Sensory Perception of Beef Steaks and Chocolate. **Foods**, v.10, p. 11-54, 2021.

CURTO, B. et al. Accurate prediction of sensory attributes of cheese using near-infrared spectroscopy based on artificial neural network. **Sensors**, v. 20, n. 12, p. 1–16, 2020.

DE LAVERGNE, M. D. et al. Dynamic texture perception and oral processing of semi-solid food gels: Part 1: Comparison between QDA, progressive profiling and TDS. **Food Hydrocolloids**, v. 43, p. 207-217, Jan. 2015.

DUIZER, L. A review of acoustic research for studying the sensory perception of crisp, crunchy and crackly textures. **Trends in Food Science & Technology**, v. 12, n. 1, p. 17-24, Jan. 2001.

DUTCOSKY, S. D. Considerações iniciais. In: _____. **Análise sensorial de alimentos**. 4. ed. rev. e ampl. Curitiba: Champagnat, 2013, cap. 1, p. 39-52.

ENGELLEN, L.; VAN DER BILT, A. Oral physiology and texture perception of semisolids. **Journal of Texture Studies**, v. 39, n. 1, p. 83-113, Feb. 2008.

FONDBERG, R. et al. Multisensory flavor perception: The relationship between congruency, pleasantness, and odor referral to the mouth. **Appetite**, v. 125, p. 244-252, June 2018.

FOSTER, K. D. et al. The role of oral processing in dynamic sensory perception. **Journal of Food Science**, v. 76, n. 2, p. 49-61, Mar. 2011.

FUENTES, S.; TONGSON, E.; VIEJO, C. G. Novel digital technologies implemented in sensory science and consumer perception. **Current Opinion in Food Science**, v. 41, p. 99–106, 2021.

GOUYO, T. et al. Assessment of acoustic-mechanical measurements for texture of French fries: Comparison of deep-fat frying and air frying. **Food Research International**, v. 131, p. 108947, 2020.

- GUIMARÃES, E. D. B. B.; REGATÃO, M. C.; BALDO, M. V. C. Organização anatômica e funcional do aparelho estomatognático. In: BALDO, M. V. C.; REGATÃO, M. C. **Fisiologia oral**. 1. ed. São Paulo: Santos, 2013. cap. 1, 192 p.
- IWATANI, S. I.; AKIMOTO, H.; SAKURAI, N. Acoustic vibration method for food texture evaluation using an accelerometer sensor. **Journal of Food Engineering**, v. 115, n.1, p. 26-32, Mar. 2013.
- JAKUBCZYK, E.; GONDEK, E.; TRYZNO, E. Application of novel acoustic measurement techniques for texture analysis of co-extruded snacks. **LWT - Food Science and Technology**, v. 75, p.582-589, Jan. 2017.
- JOURDREN, S. et al. Breakdown pathways during oral processing of different breads: impact of crumb and crust structures. **Food & Function**, v. 7, n. 3, p. 1446-1457, 2016.
- LAWLESS, H. T.; HEYMANN, H. **Sensory evaluation of Food. Principles and practices**, 2nd ed. New York: Springer, 2010.
- LENFANT, F. et al. Perception of oral food breakdown. The concept of sensory trajectory. **Appetite**, v. 52, n. 3, p. 659-667, June 2009.
- LOW, Y. Q. et al. Investigating the relative merits of using a mixed reality context for measuring affective response and predicting tea break snack choice. **Food Research International**, v. 150, p. 110718, Dec. 2021.
- MORELL, P. et al. Impact of composition and texture of protein-added yogurts on oral activity. **Food & Function**, v. 9, n. 10, p. 5443-5454, 2018.
- OLIVER, J. H.; HOLLIS, J. H. Virtual reality as a tool to study the influence of the eating environment on eating behavior: A feasibility study. **Foods**, v. 10, n. 1, p. 1–15, 2021.
- PASCUA, Y.; KOÇ, H.; FOEGEDING, E. A. Food structure: Roles of mechanical properties and oral processing in determining sensory texture of soft materials. **Current Opinion in Colloid & Interface Science**, v. 18, n. 4, p. 324-333, Aug. 2013.
- PEDERSEN, H. et al. Investigation of eye tracking, electrodermal activity and facial expressions as biometric signatures of food reward and intake in normal weight adults. **Food Quality and Preference**, v. 93, p. 104248, 2021.
- PEREIRA, L. J. et al. Effects of added fluids on the perception of solid food. **Physiology & Behavior**, v. 88, n. 4-5, p. 538-544, Jul. 2006.
- PEREIRA, L. J. et al. Mastication and swallowing: influence of fluid addition to foods. **Journal of Applied Oral Science**, v. 15, n. 1, p. 55-60, Jan./Feb. 2007.
- PEREIRA, L. J.; VAN DER BILT, A. The influence of oral processing, food perception and social aspects on food consumption: a review. **Journal of Oral Rehabilitation**, v. 43, n. 8, p. 630-648, Apr. 2016.

- PHOTHISUWAN, S. et al. Quality maintenance of salacca fruit with a carnauba wax coating containing orange oil and detection of sensory perception improvement with electroencephalography to appraise brain responses. **LWT - Food Science and Technology**, v. 147, p. 111628, 2021.
- PIAZZA, L.; GIOVENZANA, V. Instrumental acoustic-mechanical measures of crispness in apples. **Food Research International**, v. 69, p. 209-215, Mar. 2015.
- POCZTARUK, R. de L. et al. The influence of auditory and visual information on the perception of crispy food. **Food Quality and Preference**, v. 22, n. 5, p. 404-411, Jul. 2011.
- PRESCOTT, J. Multisensory processes in flavour perception and their influence on food choice. **Current Opinion in Food Science**, v. 3, p. 47–52, 2015.
- RIBEIRO, M. N. et al. Quality control of fresh strawberries by a random forest model. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 101, n. 11, p. 4514–4522, 2021.
- RIBEIRO, M. N. et al. A comparison of machine learning algorithms for predicting consumer responses based on physical, chemical, and physical–chemical data of fruits. **Journal of Sensory Studies**, v. 37, n. 3, p. e12738, 2022.
- SINESIO, F. et al. Reprint of “Capturing consumer perception of vegetable freshness in a simulated real-life taste situation”. **Food Research International**, v. 117, p. 2–9, 2019.
- SPENCE, C.; CARVALHO, F. M. Assessing the influence of the coffee cup on the multisensory tasting experience. **Food Quality and Preference**, v. 75, p. 239-248, Jul. 2019.
- SPENCE, C. Auditory contributions to flavour perception and feeding behaviour. **Physiology & Behavior**, v. 107, n. 4, p. 505-515, Nov. 2012.
- SPENCE, C.; SHANKAR, M.U. The influence of auditory cues on the perception of, and responses to, food and drink. **Journal of Sensory Studies**, v. 25, n. 3, p. 406-430, 2010.
- VAN DER BILT, A. et al. Oral physiology and mastication. **Physiology & Behavior**, v. 89, n. 1, p. 22-27, Aug. 2006.
- VAN DER BILT, A. et al. The influence of auditory and visual information on the neuromuscular control of chewing crispy food. **European Journal of Oral Sciences**, v. 119, n. 6, p. 427-434, Nov. 2011.
- VIEJO, C. G. et al. Robotics and computer vision techniques combined with non-invasive consumer biometrics to assess quality traits from beer foamability using machine learning: A potential for artificial intelligence applications. **Food Control**, v. 92, p. 72–79, 2018.
- VIEJO, C. G. et al. Integration of non-invasive biometrics with sensory analysis techniques to assess acceptability of beer by consumers. **Physiology and Behavior**, v. 200, p. 139–147, 2019.

WANG, Q. J.; ESCOBAR, F. B.; DA MOTA, P. A.; VELASCO, C. Getting started with virtual reality for sensory and consumer science: Current practices and future perspectives. **Food Research International**, v. 145, p. 110410, 2021.

WILKINSON, C.; DIJKSTERHUIS, G. B.; MINEKUS, M. From food structure to texture. **Trends in Food Science & Technology**, v. 11, n. 12, p. 442-450, Dec. 2000.

YAMAMOTO, K.; ISHIMARU, Y. Oral and extra-oral taste perception. **Seminars in Cell & Developmental Biology**, v. 24, n. 3, p. 240-246, Mar. 2013.

YANG, Q. et al. Improving simulated consumption context with virtual Reality: A focus on participant experience. **Food Quality and Preference**, v. 98, p. 104531, 2022.

ZAMPINI, M. et al. The multisensory perception of flavor: Assessing the influence of color cues on flavor discrimination responses. **Food Quality and Preference**, v. 18, n. 7, p. 975-984, Oct. 2007.

SEGUNDA PARTE

ARTIGO 1

Artigo redigido conforme a norma da revista *Food Research International*.

“Versão Preliminar”

Ambientes virtuais em pesquisas sensoriais e com consumidores: as aplicações atuais e o impacto da familiarização com as tecnologias digitais

Virtual environments in sensory and consumer research: current applications and the impact of familiarization with digital technologies

RESUMO

Os ambientes virtuais estão emergindo como possibilidades promissoras com a transformação digital na ciência sensorial e do consumidor para a simulação de diversos contextos e cenários mais realistas e naturais. Esta revisão visa fornecer uma visão geral dos fundamentos psicofisiológicos envolvidos nessas tecnologias, as aplicações recentes na ciência sensorial e do consumidor, e ainda, avaliar se uma fase de familiarização impactaria nos resultados. Para obter uma visão geral e atual do cenário, realizou-se uma pesquisa nas bases de dados *Web of Science* e *Science Direct*, limitando-se a estudos publicados nos últimos 5 anos e disponíveis *online*. Um total de 19 artigos foram identificados, destacando as principais abordagens: as influências de pistas contextuais nas respostas hedônicas e emocionais, o comportamento de escolhas e compra de alimentos, o efeito da modulação de experiências sensoriais e a investigação da validação e exploração dessas tecnologias em pesquisas sensoriais. As descobertas sugerem que é necessária uma fase de familiarização para minimizar os efeitos de distração e novidade percebidos pelo consumidor em um primeiro contato com as técnicas. O tempo de duração e/ou frequência de exposição na fase de familiarização deve ser o suficiente para a adaptação do participante. O uso de um contexto não relacionado ao teste definitivo é eficaz, desde que as atividades principais dos testes definitivos sejam abordadas e treinadas nesse contexto. Portanto, os ambientes virtuais são ferramentas promissoras nas áreas de análise sensorial e desenvolvimento de produtos, mas é preciso minimizar as limitações, garantindo a confiabilidade e reprodutibilidade dos resultados em situações reais.

Palavras-chave: Realidade virtual. Realidade aumentada. Contexto alimentar. Tecnologia imersiva. Resposta hedônica. Presença. Realismo.

1. Introdução

A indústria de alimentos tem cada vez mais empregado a análise sensorial como uma ferramenta estratégica no processo de desenvolvimento e controle de qualidade. Essa ferramenta é utilizada para compreender como a qualidade sensorial dos alimentos direcionam a tomada de decisão do consumidor e a sua satisfação (Crofton, Botinestean, Fenelon, & Gallagher, 2019).

A alta confiabilidade dos dados na coleta de respostas sensoriais é garantida com condições bem controladas, tradicionalmente realizada no laboratório em cabines individuais com condições ambientais e amostrais precisas (Crofton et al., 2019; Giezenaar & Hort, 2021; Stelick & Dando, 2018). Essas condições são projetadas para controlar os efeitos de fatores externos, como iluminação inadequada e ruídos. No entanto, em determinadas situações, principalmente se tratando de respostas sensoriais de consumidores, essa configuração apresenta como limitação a ausência de validade ecológica, sem representatividade do cenário contextual e real de consumo dos alimentos, podendo ter baixo ou nenhum efeito preditor. Sendo assim, é possível que não garanta necessariamente o sucesso de um produto no mercado (Giezenaar & Hort, 2021; Torrico et al., 2021; Yang et al., 2022).

O cenário contextual e real de consumo dos alimentos pelos indivíduos habitualmente acontece nas mais diversas situações como em suas casas, restaurantes, cafeterias, sozinhos ou na presença de familiares, amigos e colegas (Stelick & Dando, 2018). Esse contexto têm um impacto significativo sobre a seleção dos alimentos, a quantidade consumida, na percepção sensorial e na satisfação (Crofton et al., 2019; Stelick & Dando, 2018).

As pesquisas já demonstraram que a aceitabilidade do consumidor ao mesmo alimento pode diferir dependendo do local, por exemplo, em teste de laboratório e teste domiciliar (Kim, Lee, & Kim, 2016; Zhang, Jo, Lopetcharat, & Drake, 2020). Ainda, que o simples fato de evocar um contexto para o consumo de um alimento modula as características e a discriminação hedônica do consumidor (Hersleth, Mevik, Næs, & Guinard, 2003; Lusk, Hamid, Delahunty, & Jaeger, 2015), o comportamento de rejeição do consumidor pelo alimento (Giménez, Gagliardi, & Ares, 2015) e afeta as respostas emocionais associativas de consumo do alimento em relação ao contexto (Danner et al., 2016; Piqueras-Fizman & Jaeger, 2014).

Diante do exposto e ao encontro da atual transformação digital com os avanços nas tecnologias, como *smartphones* e aplicativos de mídia social, têm-se uma nova tendência de conectividade do consumidor com o mundo, os alimentos, os produtos e serviços. Como

resultado, essa transformação digital também tem acontecido na ciência sensorial e do consumidor com oportunidades para se obter novas respostas sensoriais (Crofton et al., 2019; Jaeger et al., 2017; Jaeger & Porcherot, 2017).

Em busca de contextos mais realistas e naturais e com a evolução das tecnologias digitais, a realidade virtual (RV) e a realidade aumentada (RA), estão emergindo como possibilidades promissoras na simulação de diversos contextos e cenários (Crofton et al., 2019). As experiências virtuais tem sido exploradas na ciência sensorial e do consumidor, principalmente, no que se refere, a investigação do comportamento de escolha e compra de alimentos (Siegrist et al., 2019), no efeito da modulação de pistas contextuais congruentes e incongruentes na avaliação sensorial (Chen, Huang, Faber, Makransky, & Perez-cueto, 2020; Liu, Hannum, & Simons, 2019), na avaliação de respostas hedônicas e emocionais (Delarue, Brassat, Jarrot, & Abiven, 2019; Kong et al., 2020; Sinesio, Moneta, et al., 2019; Torrico et al., 2021), dentre outras.

Desta forma, esta revisão visa fornecer, em um primeiro momento, uma visão geral dos fundamentos básicos psicológicos e fisiológicos envolvidos nessas tecnologias e revisar as aplicações recentes na ciência sensorial e do consumidor. Por fim, levando em consideração a novidade da técnica, buscou-se esclarecer se o primeiro teste com os consumidores é eficaz ou se os participantes precisam primeiro se familiarizar com a nova forma de teste e qual o protocolo da fase de familiarização.

2. Metodologia

A presente revisão está dividida nos seguintes tópicos: os tipos de experiências virtuais, fundamentos básicos psicológicos e fisiológicos aplicados nas experiências virtuais, as aplicações recentes da tecnologia virtual na ciência sensorial e do consumidor e uma abordagem metodológica em relação a familiarização com essas tecnologias.

Para obter uma visão geral e atual do cenário, realizou-se uma pesquisa bibliográfica nas bases de dados *Web of Science* e *Science Direct*, limitando-se a busca a estudos publicados nos últimos 5 anos e disponíveis *online*. Foram incluídos os estudos de testes com consumidores usando tecnologias virtuais com foco em respostas emocionais e/ou sensoriais a produtos alimentícios, comparação de ambientes imersivos, tradicional (cabine sensorial) e contexto real, envolvimento com a tarefa e ambiente de teste e comportamento de escolha e compra de alimentos em diferentes contextos. A busca foi baseada em termos (palavras-

chave) isolados e combinados, a saber: “realidade virtual”, “realidade aumentada”, “ambiente imersivo”, “contexto alimentar”, “resposta emocional e hedônica” e “engajamento”.

3. Classificação dos tipos de experiências virtuais: Modelo Contínuo Realidade-Virtualidade

O modelo de Contínuo Realidade-Virtualidade proposto por Milgram e colaboradores em 1995, classifica os tipos de experiências virtuais, o qual varia do ambiente real aos virtuais nos extremos do Contínuo. Neste artigo utilizou-se como exemplo, o Contínuo Realidade-Virtualidade adaptado por Wang et al. (2021), específico para ciência sensorial e de consumo, representado na Figura 1.

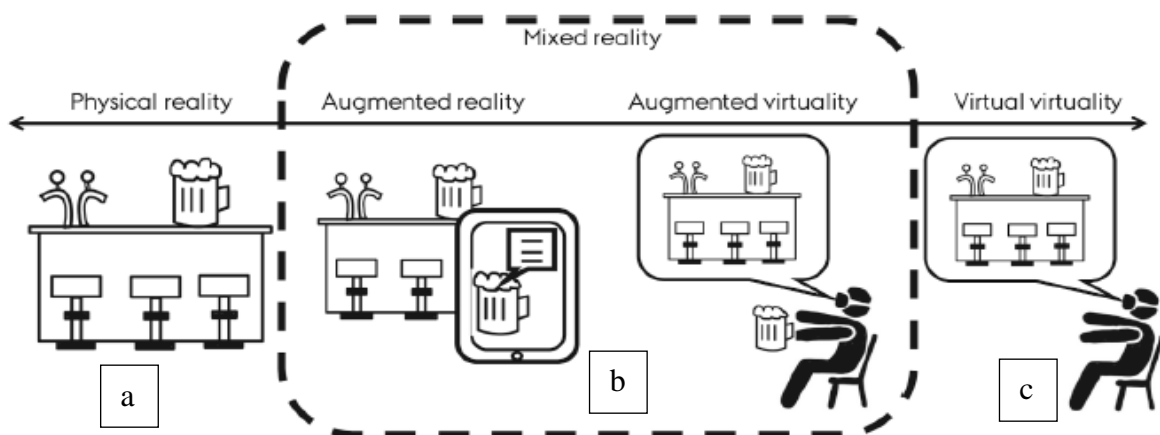


Figura 1 – Modelo Contínuo Realidade-Virtualidade (Wang et al., 2021).

No extremo esquerdo têm-se o ambiente e os objetos reais de um bar, onde poderia ser realizado um teste sensorial com o consumidor de uma determinada bebida alcoólica, ou ainda, pode referir-se a um teste sensorial em laboratório. Logo é importante observar que em ambas situações, não se utiliza nenhuma tecnologia digital, é o ambiente real (Figura 1A) (Milgram et al., 1995; Wang et al., 2021). À medida que se desloca para a direita do Contínuo, há um aumento no grau de estímulos gerados pelas tecnologias digitais e as realidades existentes entre os extremos são denominadas realidade mista. Na realidade mista os objetos reais e virtuais são mesclados no ambiente, englobando a RA e a virtualidade aumentada (VA) (Flavián, Ibáñez-Sánchez, & Orús, 2019).

No conceito de RA, as informações digitais são sobrepostas à visão de uma pessoa no ambiente real, por meio, de uma tela de *smartphone* ou óculos especiais, criando-se uma ilusão de que objetos virtuais e reais coexistem no mesmo espaço (CROFTON et al., 2019; WANG et al., 2021). De acordo com Crofton et al. (2019), atualmente existem duas plataformas principais para exibir informações de RA, a saber: monitores portáteis como *smartphones* e *tablets*, e *head-mounted displays* habilitados para RA. O *head-mounted display* (HMD) é um dispositivo de exibição de conteúdo digital com display óptico em frente cada olho (HMD binocular) ou de um olho (HMD monocular), no formato de um óculos montado na cabeça, conforme ilustrado na Figura 1B e 1C.

Na Figura 1B observa-se que para RA, o consumidor pode ter acesso a informações relacionadas a bebida como, por exemplo, informações nutricionais, sobre a produção da bebida ou atributos sensoriais, sobrepostas na parte superior da bebida. Em contrapartida, em um cenário de virtualidade aumentada, a pessoa está imersa em um ambiente virtual/digital, mas ainda existe algum grau de interação com elementos do ambiente físico, que são aumentados no ambiente virtual. No exemplo em questão, o consumidor usa um HMD exibindo um bar virtual, enquanto degusta a bebida no ambiente real que pode ser o laboratório sensorial. Esse tipo de experiência virtual também envolve salas imersivas com paredes de vídeos exibindo as cenas desejadas, enquanto o consumidor é solicitado a avaliar algum alimento (Wang et al., 2021).

Por fim, têm-se à RV no extremo direito do modelo de Contínuo Realidade-Virtualidade (Figura 1C). A RV é definida como uma interação imersiva indivíduo-computador. Isto significa dizer um ambiente totalmente simulado virtualmente por meio de computador que permite ao indivíduo comportar-se de maneira semelhante ao que faria no ambiente real (Flavián et al., 2019; Wang et al., 2021; Xu, Siegrist, & Hartmann, 2021). Na RV é possível o controle de parâmetros específicos como a duração e a frequência da estimulação. Ainda permite que os sentidos sensoriais do usuário sejam acoplados, fornecendo experiências multissensoriais complexas, melhorando o senso de presença e suscitando experiências emocionais vívidas (Jaeger et al., 2017; Ledoux, Nguyen, Bakos-Block, & Bordnick, 2013; Stelick, Penano, Riak, & Dando, 2018).

As atuais experiências de RV podem ser realizadas por meio do uso de HMD conectado com sensores de rastreamento corporal e fones de ouvido e, ainda, têm sido adicionadas algumas tecnologias como luvas ou roupas hápticas, a fim de proporcionar sensações táteis e cinestésicas (Crofton et al., 2019; Freeman et al., 2017; Park, Kim, Lee, Na, & Jeon, 2019). Na Figura 1C, o consumidor faz uso de óculos HMD exibindo um bar virtual

completamente separado e diferente do ambiente físico. Essa condição permite estar no laboratório sensorial e avaliar suas expectativas em relação a uma cerveja, a influência de diferentes copos de cerveja, preferência por aperitivos, a influência de músicas na percepção sensorial, dentre outras situações.

Portanto, a principal diferença entre as duas experiências virtuais foco desta revisão (RV e RA) para o consumidor é o nível de imersão. Na RA não se tem a substituição completa do ambiente real, apenas projeções de informações digitais complementares, grande parte do que se visualiza faz parte do ambiente real. Contrariamente, na RV cria-se um ambiente virtual próprio independente do real, no qual consumidor está totalmente imerso (Crofton et al., 2019; Yung & Khoo-Lattimore, 2019).

4. Fundamentos básicos psicológicos e fisiológicos aplicados nas experiências virtuais

4.1 Fundamentos psicológicos

As simulações ambientais adquirem um papel relevante na psicologia ambiental. Elas permitem recriar e estudar isoladamente e de maneira controlada os efeitos do espaço na experiência humana, com base, no realismo comportamental (Higuera-Trujillo, Maldonado, & Millían, 2017). O princípio básico consiste que quanto mais a tela imitar o ambiente real, de forma mais semelhante o participante responderá a ela, conforme faria no ambiente real (Freeman, Avons, Meddis, Pearson, & Ijsselsteijn, 2000; Higuera-Trujillo et al., 2017). As experiências virtuais são vívidas e reais, quando dentre as várias características psicológicas, consegue-se despertar as mais importantes que são a imersão e o senso de presença, influenciando as respostas emocionais e as ações do indivíduo (Yu, Lee, & Luo, 2018; Zinchenko et al., 2020).

A imersão está relacionada com as capacidades técnicas do sistema de substituir ou aumentar os estímulos e com o senso de envolvimento profundo e absorção em uma atividade (Dickinson, Gerling, Wilson, & Parke, 2020; Freeman et al., 2017; Zinchenko et al., 2020). As características tecnológicas determinantes para o nível de imersão são a resolução HMD, o campo de visão, o som estéreo, a estereoscopia, a precisão e velocidade de rastreamento (Yu et al., 2018; Zinchenko et al., 2020). Outro fator é a magnitude da estimulação sensorial, visto que, o efeito da imersão é maior quando ocorre estimulação simultânea de mais sistemas sensoriais, a congruência da estimulação de diferentes modalidades e o grau de intensidade (Servotte et al., 2020; Zinchenko et al., 2020).

Em relação ao senso de presença, refere-se a uma experiência subjetiva em que a pessoa deixa psicologicamente o lugar ou ambiente em que se encontra fisicamente e tem a sensação de estar em outro ambiente simulado virtualmente (Freeman et al., 2017; Servotte et al., 2020; Weech, Kenny, & Barnett-Cowan, 2019; Zinchenko et al., 2020). Resumidamente, é um estágio psicológico, ou seja, a ilusão de estar no ambiente/lugar representado pela experiência virtual (Freeman et al., 2017; Weech et al., 2019). A natureza subjetiva do senso de presença está relacionada ao fato de depender de diferentes processos sensoriais, cognitivos e afetivos. A presença está ligada ao transporte, no sentido de que a consciência das pessoas está sendo transportada para um lugar alternativo e completamente diferente de onde eles realmente estão, uma vez que, se sentirem no lugar simulado, agem como se estivessem em um ambiente real (Flavián et al., 2019; Lombard & Ditton, 1997).

Skarbez, Brooks e Whitton (2017) propõem um modelo de presença baseado nos sentimentos de ilusão de lugar, ilusão de plausibilidade e ilusão de presença social. O termo ilusão de lugar é conceitualmente definido como a sensação de “estar lá”, quer dizer, a forte ilusão criada pelas experiências virtuais de estar em um ambiente, apesar de certo conhecimento de que você não está realmente lá (Skarbez, Brooks, et al., 2017; Slater, 2009). Essa sensação é alcançada quando os estímulos do ambiente real são totalmente excluídos e percebidos apenas aqueles gerados pelo computador (Gregg & Tarrier, 2007). Enquanto a ilusão de lugar é sobre como o mundo é percebido, a ilusão de plausibilidade é sobre o que é percebido. Ou seja, a ilusão de plausibilidade é a ilusão de que os eventos experimentados virtualmente estão acontecendo, mesmo que, os indivíduos tenham, conscientemente, a certeza de que não estejam, não são reais (Freeman et al., 2017; Skarbez, Brooks, et al., 2017; Slater, 2009). Para a ocorrência da sensação da ilusão de plausibilidade é necessário que o ambiente virtual responda às ações dos participantes, promova ações espontâneas em relação a eles e seja ecologicamente válido quando eventos da vida real são retratados. Isto é, forneça correlações entre eventos externos não diretamente causados pelo participante e suas próprias ações (Freeman et al., 2017; Skarbez, Neyret, Brooks, Slater, & Whitton, 2017; Slater, 2009). Portanto, quando a ilusão de lugar e a ilusão de plausibilidade atuam, espera-se que os participantes se comportem de forma realista aos estímulos da experiência virtual (Freeman et al., 2017; Skarbez, Neyret, et al., 2017).

Por último, segundo Skarbez, Brooks e Whitton (2017), o termo de ilusão de presença social refere-se ao sentimento ilusório de estar junto e se envolver com um “ser consciente e real”, desenvolve-se algum grau de interação, em que o comportamento e/ou estado psicológico de uma pessoa é afetado pela outra. Os autores ainda argumentam que a

ocorrência da ilusão de presença social depende de três características, a saber: (1) a companhia de outro ser ou seres “conscientes e reais” no ambiente virtual; (2) a capacidade do meio de transmitir sinais comunicativos, por exemplo, voz, contato visual, e (3) comportamento apropriado do outro ser ou seres “conscientes e reais”.

No ambiente de RA, o participante mantém o senso de presença no mundo real. De acordo com Cipresso et al. (2018), o sentimento de presença, o nível de realismo e o grau de realidade representam as principais características consideradas como indicadores da qualidade das experiências de RA. Quanto mais a experiência for percebida como realista e existir congruência entre a expectativa do participante e a interação dentro de ambientes de RA, maior será a percepção de “estar lá” fisicamente e nos níveis cognitivo e emocional.

4.2 Fundamentos fisiológicos

No geral, as experiências virtuais baseiam-se principalmente em estímulos audiovisuais (Flavián, Ibáñez-Sánchez, & Orús, 2021). A visão é um processo sensorial ativo que coleta sequencialmente impulsos ópticos de uma maneira inteligente e específica de tarefas (Catania & Nicolitz, 2018). O ser humano apresenta uma visão binocular, também conhecida como visão estereoscópica, termo de origem grega “visão sólida”, resultante da superposição quase completa dos campos visuais de cada olho (Bicas, 2004). As duas imagens bidimensionais captadas por cada olho, a partir do ponto de vista e das informações sobre o grau de convergência e divergência dos eixos visuais, após a fusão das imagens, são interpretadas pelo cérebro, resultando em uma visão tridimensional. Os olhos humanos, em média, apresentam uma distância interocular de 65 milímetros um do outro e podem convergir, de modo a cruzarem seus eixos em qualquer ponto a poucos centímetros à frente do nariz (Tori, Kirner, & Siscoutto, 2006).

Os fundamentos da estereoscopia são empregados nas experiências de RV e RA para proporcionar a sensação de imersão, permitindo ao participante a visualização de imagens com uma sensação de profundidade e a percepção da distância do objeto alvo (Tori et al., 2006). A percepção de profundidade é obtida pela diferença de ângulos com que os olhos captam duas imagens de um mesmo objeto com pontos de vista ligeiramente diferentes. Estas diferenças entre imagens geradas pelo olho direito e esquerdo são processadas pelo cérebro, dando uma noção de profundidade e, com isto, tem-se a ideia de imersão em um ambiente com objetos posicionados a distâncias diferentes (Tori & Hounsell, 2018; Tori et al., 2006).

No monitor do tipo HMD têm-se duas imagens geradas pelo computador, correspondentes a cada olho. As imagens 2D são calculadas e renderizadas com a perspectiva apropriada em relação à posição de cada olho na cena virtual descrita tridimensionalmente e, então, juntas formam um par estéreo. Os monitores possuem um mecanismo para capturar continuamente a posição e orientação da cabeça e direção do olhar do usuário. Sendo assim, conforme acontece as mudanças de posição e orientação, as imagens são recalculadas e exibidas no monitor. Esse mecanismo proporciona ao usuário a sensação de estar em um ambiente alternativo com tamanho natural, no qual, a orientação do olhar permite a visualização do mundo circundante gerado pelo computador em estéreo 3D com movimentos e paralaxe de movimento (Slater & Sanchez-Vives, 2016).

Os tipos de exibições nas aplicações de RA, em geral, são classificados em três categorias: Video-See-Through (VST)/Digital Pass-Through, Optical See-Through (OST) e baseada em projeção. Na configuração VST (Figura 2), a câmera de vídeo (câmera estereoscópica) captura a cena física (real) seguida pela sobreposição da imagem gerada virtualmente na imagem capturada com a ajuda de uma Unidade de Processamento Holográfico (HPU). Então, a imagem combinada é mostrada ao usuário, por meio, de um display digital padrão. As telas VST podem ser encontradas em HMDs, dispositivos portáteis e monitores padrão (Chai, O’Sullivan, Gowen, Rooney, & Xu, 2022).

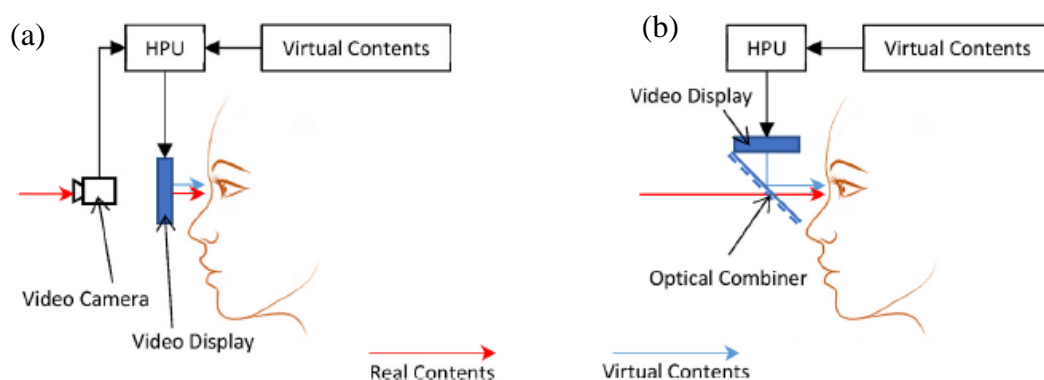


Figura 2 – Configuração VST (a) e OST (b) de acordo com Chai et al. (2022).

No caso de displays OST, a imagem gerada virtualmente é combinada opticamente com a visão real do mundo, permitindo assim ao usuário visualizar o mundo físico diretamente sobreposto a objetos virtuais (Figura 2). Isso é conseguido com combinadores ópticos, como um prisma ou a tecnologia de guia de onda mais avançada usada na maioria dos HMDs OST modernos. O sistema OST preserva a visão direta do mundo real, permitindo

assim uma melhor sensação de presença, enquanto, no VST há conversão de perspectiva no ponto de vista e no campo de visão. A exibição baseada em projeção funciona projetando o conteúdo virtual em cima da cena real com o auxílio de projetores de luz ou embutidos diretamente no ambiente com telas planas, e pode ser visualizada diretamente por vários usuários (Chai et al., 2022).

5. Aplicações recentes das tecnologias virtuais na ciência sensorial e do consumidor

Na Tabela 1 estão apresentadas as aplicações recentes das tecnologias virtuais na ciência sensorial e do consumidor. Um total de 19 artigos utilizando as tecnologias virtuais na área de alimentos como uma ferramenta de estudo em ciência sensorial e pesquisa com consumidores foram identificados, podendo destacar como principais abordagens, a saber: as influências de pistas contextuais nas preferências e comportamento alimentares com foco em respostas hedônicas e emocionais, o comportamento de escolhas e compra de alimentos pelos consumidores, o efeito da modulação de experiências sensoriais e, por fim, investigação da validação e exploração da tecnologia de RV em pesquisas sensoriais.

Tabela 1. Aplicações recentes da tecnologia virtual na ciência sensorial e do consumidor.

Referência	Resposta estudada	Contexto imersivo e não-imersivo	Abordagem tecnológica e metodológica	Estímulos: V, A, O e T	Principais descobertas
Hathaway e Simons (2017)	A validade ecológica de testes sensoriais com o consumidor fornece avaliações hedônicas mais discriminantes e confiáveis. Diferentes níveis de imersão afeta o poder e confiabilidade de dados hedônicos.	Cozinha doméstica: preparação de <i>cookies</i> Cabine sensorial	59 participantes <i>Cookies</i> comerciais sabor de chocolate Telas de vídeo e monitor de computador Aceitabilidade (escala hedônica de 9 pontos) e preferência Questionário de engajamento (19 itens)	V, A e O	Os resultados hedônico/preferência dos consumidores mostraram ser mais discriminatórios e confiáveis no ambiente totalmente imersivo. A presença de pistas contextuais e o grau de imersão afetaram as avaliações dos consumidores, sendo maiores nos ambientes virtuais.
Sinesio et al. (2019a)	Investiga a percepção de frescor de vegetais pelo consumidor em cenário imersivo comparado ao tradicional: impacto no poder de discriminação	Sala de jantar de uma fazenda de férias Cabine sensorial	48 participantes Tomate e rúcula em diferentes tempos de armazenamento Telas de vídeo Aspecto global (escala	V, A, O e T	As respostas hedônica e de frescor foram maiores no ambiente imersivo comparado ao tradicional. No entanto, a eficácia de discriminação dos produtos testados foi reduzida no ambiente imersivo.

	de respostas hedônicas e frescor percebidos pelo consumidor.		hedônica de 9 pontos) Atributo Frescor (escala hedônica de 9 pontos) Questionário de engajamento		
Sinesio et al. (2019b)	Avalia o uso de tecnologias imersivas em relação ao ambiente tradicional (laboratório) e real e os níveis de imersão quanto ao poder de discriminação de produtos, repetibilidade de amostras, engajamento, eficácia nas respostas hedônicas e emocionais.	Beber cerveja em um bar Ambiente real Cabine sensorial	513 participantes Cerveja Lager HMD (Oculus Trust Urban VR, Oculus Rift) e telas de vídeo Aspecto global (escala hedônica de 9 pontos) Intenção de provar novamente (escala de 5 pontos) Respostas emocionais (CATA) Questionário de engajamento (escala de 7 pontos)	V, A, O e T	Houve menor discriminação do produto para as questões hedônicas e as emoções no ambiente real e nas abordagens imersivas comparado com o laboratório. A repetibilidade dos dados hedônicos foi melhor no ambiente real e na sala imersiva. Já as respostas emocionais mostraram boa repetibilidade em todas as condições de teste e a frequência de emoções mostrou relação positiva com aceitabilidade, sendo maiores as avaliações em contexto. As tecnologias imersivas testadas melhoraram o engajamento dos consumidores. No geral, mais semelhança dos resultados com o ambiente real foi obtida para os contextos imersivos.

Siegrist et al. (2019)	Avalia se o comportamento de escolha e compra de alimentos em contexto virtual é comparável ao real motivados por diferentes condições (restrições nutricionais, saúde e sabor)	Supermercado	68 participantes (estudo 1) 46 participantes (estudo 2) Cereais HMD (Oculus DK2) acoplado com rastreador ocular e manual, controlador HTC Vive Sistema ReWaVE (caminhada real em ambientes virtuais) Áreas de interesse (AOI): frequência que um pacote foi pego, tempo necessário para leitura da tabela e tempo total gasto Fixação do olhar Registro da posição e da rotação da mão Leitura da tabela Escolha do cereal	V	Os resultados mostraram que os participantes se comportaram de maneira semelhante nas condições real e virtual na seleção dos cereais. Houve apenas algumas diferenças no comportamento de busca de informações. Na condição em que os participantes deveriam escolher o cereal saudável, eles prestaram mais atenção às informações nutricionais comparado a condição hedônica (cereal saboroso).
------------------------	---	--------------	---	---	--

Andersen et al. (2019)	Avalia a RV como uma tecnologia de aprimoramento de contexto em avaliações de produtos. Ou seja, se uma exposição contextual por RV imersiva ou uma condição imaginativa foto-aprimorada (PIC) poderia induzir efeitos sobre desejos e gostos por bebidas (quentes e frias) alinhados com a situação.	Praia Laboratório	60 participantes Café, chá, suco, refrigerante e cerveja HMD (Samsung Gear VR com Samsung Galaxy S7) Contexto imaginativo: foto (PIC) Desejo pela bebida (escala de 10 pontos) Nível de engajamento (escala Likert de 7 pontos) Relato de sensações Teste de escolha comportamental (barras de chocolates)	V e A	A condição de RV induziu um engajamento significativamente mais forte em comparação com a condição imaginativa. O desejo por bebidas frias <i>versus</i> quentes foi significativamente maior na simulação de RV em comparação com o contexto PIC. A RV imersiva induziu uma sensação positiva de presença menos dependente do nível de excitação e teve um efeito mais forte nos desejos relacionados à bebida.
Liu, Hannum e Simons (2019)	Avalia o uso de tecnologias imersivas como ferramenta exploratória na modulação da	Cafeteria	50 participantes Cafés frios Telas de vídeo Classificação de preferência	V, A e O	Os resultados revelaram que as pistas olfativas tiveram uma prioridade menor do que as pistas visuais ou auditivas nos ambientes simulados quando avaliadas pela capacidade do avaliador de recordar os fluxos

	congruência contextual de pistas visuais, auditivas e olfativas e examina o impacto potencial na lembrança do contexto, tempo de avaliação e preferência e gosto de café frio.		Aceitabilidade (escala hedônica de 9 pontos)		de informações. Os avaliadores passaram mais tempo avaliando os cafés na primeira condição de controle apresentada em comparação com as condições incongruentes ou a condição de controle repetida.
Delarue et al. (2019)	Avalia como as condições de teste afeta a percepção e o gosto dos consumidores por cervejas sem álcool sabor de frutas.	Boate Praia tropical Cabine sensorial	249 participantes Cervejas sem álcool sabor de frutas Sala de vídeo (telas de vídeo) Aspecto global (escala de 10 pontos) Percepção da cerveja e adequação de estímulos-contexto (CATA)	V, A, O e T	Em geral, houve muito pouco efeito das condições de teste nas pontuações hedônicas, sendo as cervejas bem apreciadas em todas as condições. As pontuações hedônicas médias não diferiram significativamente entre os contextos, embora tenham sido ligeiramente maiores nas condições imersivas. Por fim, os consumidores avaliaram a adequação situacional dos produtos de forma diferente, dependendo do contexto imersivo.
Chen et al. (2020)	Avalia o efeito de pistas visuais congruentes e	Doce-congruente Amargo-	41 participantes Bebida sabor de frutas	V	Os resultados confirmaram a influência de pistas visuais específicas na percepção dos

	incongruentes apresentadas em RV na percepção de doçura e aceitação.	congruente Neutro	vermelhas (xarope de grenadine concentrado) HMD (Samsung Gear VR com Samsung Galaxy S7) Intensidade de doce, ácido e amargo (escala de 9 pontos) Aceitabilidade (escala de 9 pontos) Eletroencefalografia Níveis de conforto (escala de 9 pontos) Congruência visual-gustativa (escala de 9 pontos)		gostos. A doçura percebida da bebida foi significativamente maior no ambiente doce-congruente em relação aos outros. A congruência visual-gustativa não pareceu ter efeito sobre o gosto pela bebida e a aceitação geral, enquanto um aumento no gosto pelo ambiente foi encontrado no contexto incongruente em relação aos outros.
Pennanen et al. (2020)	Investiga as experiências alimentares dos consumidores em relação ao estado emocional em ambientes virtuais.	Piquenique em dia ensolarado (estado emocional +) Piquenique com chuva repentina	67 participantes Snacks de centeio (saudável) Chocolate ao leite (não-saudável)	V e A	Os resultados mostraram uma correlação entre as respostas emocionais positivas e as avaliações pré-degustação dos lanches. O lanche saudável foi melhor classificado em ambiente virtual por induzir uma resposta

	(estado emocional -)	Instalação CAVE			emocional positiva. As respostas emocionais positivas se correlacionaram, principalmente, com as avaliações hedônicas do lanche não saudável. Na fase de degustação, não foram observadas diferenças entre as condições nas avaliações hedônicas.
		Avaliação pré-degustação (escala de 10 pontos)			
		Aceitação (escala de 10 pontos)			
		Resposta emocional (escala de 7 pontos)			
		Eletrocardiografia			
		Eletroencefalografia			
Wang et al. (2020)	Avalia a influência da aparência de café em RV na percepção do sabor.	Cabine sensorial	32 participantes	V	A cor da bebida em RV influenciou significativamente a percepção de cremosidade, sendo o café marrom claro classificado como mais cremoso do que o marrom escuro. A cor não influenciou a percepção de doçura e a preferência.
			Café frio: níveis de doçura (4% e 8%) e cores em RV (marrom claro e escuro)		
			HMD com rastreador de RV (HTC Vive Pro)		
			Doçura, cremosidade e preferência (escala de 9 pontos)		
			Questionário Qualtrics		
Kong et al.	Explora preliminarmente	Passeio turístico	67 participantes	V e A	Os resultados mostraram que não houve

(2020)	o potencial da tecnologia de RV como suporte em testes sensoriais regulares.	agradável (+) Show de música ao vivo barulhento (-) Cabine sensorial	Chocolate branco (28% cacau), chocolate ao leite (33% cacau) e chocolate amargo (72% cacau) HMD (Oculus Go) Aceitabilidade: sabor, doçura, amargor, sabor de cacau, sabor de leite, textura, dureza, suavidade, sabor residual e aspecto global (escala de 9 pontos) Atributos sensoriais: doçura, amargor, sabor de cacau, sabor de leite e textura geral (escala JAR) Intenção de compra (escala binomial) Respostas emocionais (CATA)	efeitos significativos do tipo de contexto na experiência sensorial. No entanto, houve efeitos significativos do tipo de chocolate. Os chocolates ao leite e branco foram preferidos ao chocolate amargo, independentemente do tipo de contexto. Em comparação com a cabine sensorial, os participantes tenderam a ter um melhor envolvimento quando provaram os chocolates nos ambientes de RV. A combinação de chocolate amargo e o ambiente de show de música ao vivo afetou significativamente as respostas hedônicas e as emoções dos consumidores positivamente.	
Torrice et	Avalia a aceitabilidade e	Floresta	50 participantes	V	Os ambientes de RV afetaram a percepção de

al. (2021) as respostas emocionais de chocolate com e sem açúcar em diferentes ambientes

esteticamente agradável (+)
Sala antiga desorganizada (-)
Cabine sensorial

Chocolate tradicional (50% açúcar) e chocolate sem açúcar (adoçante maltitol)

HMD com aplicativo Gala 360

Aceitabilidade (escala hedônica de 9 pontos):
doçura, amargor, textura, revestimento da boca, sabor residual e aspecto global

Intensidade de doçura, amargor e dureza (escala de 15 cm)

Ideal de doçura, amargor e textura (escala JAR)

Intenção de compra (escala binomial)

Respostas emocionais

doçura e as respostas emocionais dos consumidores em relação aos tipos de chocolates. O chocolate tradicional apresentou maior intensidade de doçura comparado ao sem açúcar no ambiente de RV (+). Ambos os chocolates sob RV (+) foram associados a respostas emocionais positivas e sob o ambiente tradicional foram relacionados a emoções mais neutras. Enquanto que as respostas emocionais negativas foram associadas ao chocolate sem açúcar sob o RV (-).

Crofton, Murray e Botinestean (2021)	Explora o efeito de diferentes contextos ambientais nas respostas hedônicas dos consumidores a produtos alimentícios, usando a RV como tecnologia de aprimoramento de contexto.	Restaurante Cabine sensorial	(CATA) 30 participantes Carne bovina HMD (Oculus Go) Aceitabilidade (escala hedônica de 9 pontos): aroma, maciez, suculência, sabor de carne e aspecto global Nível de engajamento e de distração (escala de 7 pontos) Intenção de compra (escala de 5 pontos)	V e A	Os resultados mostraram que a RV teve um efeito significativo nas respostas hedônicas dos consumidores aos produtos alimentícios testados. Especificamente, verificou-se que um ambiente imersivo de RV tende a induzir uma resposta hedônica positiva, quando comparado a uma configuração de cabine sensorial tradicional. A carne bovina foi avaliada significativamente mais alta em termos de aceitabilidade para todos os atributos sensoriais quando consumida no restaurante de RV. Enquanto que para o chocolate, o contexto rural de RV (campo irlandês) gerou pontuações hedônicas significativamente maiores para sabor e aspecto global comparado com a cabine sensorial. Ambos os estudos demonstraram como configurações contextuais específicas podem impactar a resposta sensorial à carne
		Campo irlandês (zona rural) Cidade movimentada Cabine sensorial	Chocolate ao leite (20% cacau) Aceitabilidade (escala hedônica de 9 pontos): aroma, sabor, doçura, textura, maciez e aspecto		

			global Nível de engajamento e de distração (escala de 7 pontos) Intenção de compra (escala de 5 pontos)		bovina e chocolate, quando comparadas a uma condição de laboratório sensorial tradicional.
Gouton et al. (2021)	Testa a validade de representações visuais de produtos alimentícios em RV.	Cabine sensorial	20 participantes <i>Cookies</i> comerciais sabor chocolate HMD (HTC Vive) Perfil flash 16 participantes Perfil convencional	V	Os resultados ofereceram perspectivas promissoras para o uso de produtos alimentares virtuais em estudos sensoriais e de consumo, demonstrando a aplicabilidade na análise sensorial descritiva. As descrições dos <i>cookies</i> virtuais foram próximas das descrições dos <i>cookies</i> reais.
Oliver e Hollis (2021)	Estuda o efeito do ambiente alimentar na ingestão de alimentos e comportamento alimentar usando tecnologia de RV.	Restaurante (pizzaria) Cena em branco (sala vazia com uma mesa)	15 participantes Pãezinhos de pizza (rolo de pizza – Totino’s Cheese Pizza Rolls) HMD (HTC Vive) Questionário de presença (escala de Likert de 7	V e A	Não houve diferença significativa na ingestão alimentar ou na avaliação sensorial nas condições testadas. Na condição do restaurante, os participantes relataram um aumento da sensação de presença junto com o aumento da frequência cardíaca e temperatura corporal. Enquanto, houve mudanças mínimas

			<p>pontos)</p> <p>Questionário de apetite subjetivo (escala analógica visual de 100 mm)</p> <p>Avaliação sensorial (escala de Likert de 9 pontos)</p> <p>Parâmetros de mastigação e fisiológicos</p>		<p>nos parâmetros mastigatórios, como, por exemplo, menos ciclos mastigatórios.</p>
Xu et al. (2021b)	Investiga a comparabilidade do comportamento dos consumidores em RV e em real para validar RV na aquisição de dados em pesquisa de comportamento do consumidor.	Laboratório	<p>98 participantes</p> <p>Cereais matinais comerciais</p> <p>HMD (HTC Vive Pro)</p> <p>Questionário de presença (escala de Likert de 7 pontos)</p>	V e T	<p>As descobertas mostraram que o comportamento dos participantes no ambiente virtual e real foram altamente comparáveis. Isso fornece evidências robusta da validade e aplicabilidade da RV como uma ferramenta de coleta de dados. A percepção de saudabilidade, o comportamento de busca de informações e os atributos empregados pelos participantes para avaliar a saudabilidade dos cereais não diferiram entre as duas condições (virtual e real)</p>
Low et al.	Investiga os efeitos do	Cafeteria (RA)	120 participantes	V e A	O estudo sugere que a realidade mista (RA)

(2021a)	contexto na resposta emocional do consumidor.	Cafeteria real Cabine sensorial	Biscoito de chocolate e fatia de chocolate e caramelo Dispositivo HoloLens (Microsoft Corporation): HMD (óculos de RA) Resposta emocional (RATA: 25 termos, escala de 5 pontos)		evocou respostas emocionais semelhantes e discriminação entre os lanches como na cafeteria real, demonstrando ser uma técnica útil para avaliar a resposta emocional do consumidor em relação ao contexto. As respostas nas cabines sensoriais foram diferentes. Isso sugere que é importante incluir contexto na coleta de dados de resposta emocional do consumidor.
Low et al. (2021b)	Compara o efeito da configuração de consumo nas respostas afetivas do consumidor e investiga a eficácia do uso da tecnologia de RA como alternativa ecologicamente válida ao consumo natural para avaliação sensorial	Cafeteria (RA) Cafeteria real Cabine sensorial	120 participantes Biscoito de chocolate e fatia de chocolate e caramelo Dispositivo HoloLens (Microsoft Corporation): HMD (óculos de RA) Resposta emocional (RATA: 25 termos, escala de 5 pontos) Aceitabilidade (escala de 9	V e A	Os resultados sugerem que a realidade mista (RA) pode ser uma ferramenta eficaz para evocar um contexto mais ecologicamente válido para pesquisas com os consumidores nas avaliações de suas respostas afetivas. Não houve diferenças significativas para a maioria das avaliações afetivas entre os dados obtidos no contexto de cafeteria real e de RA. No entanto, diferenças de resposta foram observadas entre esses dois contextos e as cabines sensoriais.

pontos): aspecto global, achocolatado, mastigável, doce, quebradiço, amanteigado e seco após o sabor

Yang et al. (2022)	Explora a experiência do consumidor em relação ao design inovador de RV e mede o envolvimento comparado ao cenário evocado.	Bar Cabine sensorial	27 participantes Cerveja Ale e Lager HMD (HTC Vive) com rastreadores (HTC Vive Object VR Trackers) Tablet e fones de ouvido Respostas emocionais (escala de intensidade) Aceitação Entrevista Questionário de engajamento (escala Likert de 7 pontos)	V e A	Os resultados mostraram que o uso da tecnologia de RV teve claras vantagens em termos de envolvimento do participante em comparação com o contexto evocado. O áudio, o tempo gasto em RV e a presença simulada de outras pessoas de forma realista foram identificados como elementos-chave que melhoraram o realismo e a imersão no contexto de RV, enquanto a baixa qualidade da imagem e os problemas técnicos tiveram o efeito oposto. Ainda observaram altos níveis de novidade para os participantes no uso dessa tecnologia, gerando um impacto adicional na resposta emocional.
--------------------	---	-------------------------	--	-------	---

A maioria dos estudos utilizaram os testes afetivos como método sensorial empregados com os consumidores. Dentre eles, o teste de aceitabilidade e preferência foram os principais testes quantitativos (Tabela 1). No teste de aceitação, os consumidores são apresentados a produtos e solicitados a indicar o grau de aceitabilidade em uma escala (Drake, 2007). Em geral, a escala mais comumente usada foi a escala hedônica de 9 pontos que varia gradativamente em gostar ou desgostar do produto. A escala do ideal (*Just-About-Right*, abreviada pela sigla JAR) é uma subcategoria do teste de aceitação que foi utilizada em dois dos estudos. A escala mede se atributos pré-estabelecidos estão presentes em um produto em um nível alto, baixo ou ideal. Isto é, determina a intensidade de atributos pré-estabelecidos que o consumidor considera como ideal no produto (Drake, 2007). Já no teste de preferência, os consumidores são apresentados a 2 ou mais amostras e solicitados a indicar qual amostra preferem ou classificar sua preferência pelas amostras (Drake, 2007).

O *Check-All-That-Apply* (CATA) foi o método sensorial descritivo mais utilizado pelos estudos para avaliar as respostas emocionais dos consumidores, a recordação contextual, a percepção do produto e adequação de estímulos-contexto. No método CATA, os consumidores recebem uma lista de termos ou frases, a partir da qual, são solicitados a selecionarem aqueles que em seu julgamento descreverem adequadamente o produto. Os termos podem incluir atributos sensoriais, bem como, respostas hedônicas, respostas emocionais, intenções de compra, aplicações potenciais, posicionamento do produto ou outros termos que o consumidor possa associar ao produto (Meyners & Castura, 2014).

Os resultados dos estudos apresentados na Tabela 1, apontam que, em geral, os efeitos dos ambientes virtuais nas respostas hedônicas e na discriminação dos produtos parecem ainda não estar completamente esclarecidos, necessitando de mais investigação como, por exemplo, a adequação do contexto em relação ao produto, a seleção das informações contextuais, o nível de imersão e de realismo. Em apenas 4 observou-se um efeito significativo para aceitação, sendo maiores no contexto imersivo comparado ao controle (Crofton, Murray, & Botinestean, 2021; Hathaway & Simons, 2017; Low, Lin, Jun Yeon, & Hort, 2021; Sinesio, Saba, et al., 2019). Em contrapartida, os ambientes virtuais demonstraram ser ecologicamente válidos para as respostas emocionais, a intensidade de atributos, nas respostas comportamentais, no envolvimento e no engajamento do consumidor e uma boa repetibilidade. Também se observou uma variação no número de participantes (entre 15 e 513) e nos tipos de contextos alimentares, desde os tradicionais (bar, restaurante, cafeteria, supermercado, dentre outros) até os mais inusitados como show e boate comparados à cabine tradicional e/ou ambiente real.

A interação nos ambientes virtuais pode envolver os participantes em diferentes níveis, podendo ser classificadas como:

- **Imersiva:** o ambiente gerado pelo computador permite ao usuário navegar e interagir, acionando simulação em tempo real de seus sentidos, proporcionando a criação de experiências imersivas devido a capacidade de ativar múltiplas vias sensoriais por meio dos sentidos humanos (Flavián et al., 2019; Sinesio et al., 2019b). O nível máximo de incorporação tecnológica pode gerar uma simbiose humano-tecnologia, levando os usuários a um estado em que a tecnologia é uma parte imperceptível de seus corpos, tanto a posse (sensação de que a ferramenta tecnológica pertence ao corpo) quanto a localização, e com isso, têm-se a sensação de presença dentro do mundo virtual (Flavián et al., 2019). Permite que a pessoa se perceba no papel de um sujeito de atividade, ao invés, de um mero observador externo durante o envolvimento ativo na interação com os objetos (Zinchenko et al., 2020). Essa experiência acontece por meio do suporte de vários dispositivos de saída sensorial como monitores do tipo HMDs ou múltiplas projeções como CAVE (Ambiente Virtual Automático de Caverna) associados com dispositivos multissensoriais (áudio e tátil – luvas e roupas hápticas) (Cipresso et al., 2018; Flavián et al., 2019).
- **Não-imersiva:** o usuário é transportado parcialmente ao mundo virtual pela reprodução de imagens por meio de uma janela (monitores ou projeções simples), mas continua a sentir-se predominantemente no mundo real (Tori et al., 2006). Ou seja, fornece um nível limitado de realismo devido ao menor nível de feedback sensorial (Li, Yi, Chi, Wang, & Chan, 2018). A experiência pode ser mediada por vídeos, um monitor de computador (desktop) e controlado com entradas tradicionais de teclado/mouse, dispositivos portáteis (smartphones) e telas associados com dispositivos auditivos e táteis.

6. Familiarização com as tecnologias virtuais

Até que ponto a novidade das tecnologias digitais podem afetar as avaliações dos consumidores? Existe um protocolo determinado para execução dos testes? Seria necessária uma etapa de familiarização/treinamento com a tecnologia? A familiarização deve ser no mesmo contexto do teste ou poderia ser em um contexto não relacionado ao teste definitivo?

As tecnologias digitais são inovadoras na forma de coleta e obtenção de dados, tanto para os pesquisadores quanto para os consumidores. O uso dos adereços tecnológicos, a dinâmica ao visualizar a cena e a movimentação em ambientes virtuais, em um primeiro contato, pode causar uma distração, afetar o desempenho e a atenção na tarefa à qual os consumidores foram solicitados.

A literatura revisada não estabelece um protocolo específico para a execução dos testes. Apenas cinco estudos incluídos nesta revisão fizeram uma fase de familiarização/treinamento dos participantes com a tecnologia digital utilizada, em que foram solicitados a interagir e explorar o ambiente, familiarizados com o uso correto dos dispositivos, com o protocolo dos testes e treinados para execução correta das tarefas (Crofton et al., 2021; Gouton, Dacremont, Trystram, & Blumenthal, 2021; Siegrist et al., 2019; Xu, Demir-Kaymaz, Hartmann, Menozzi, & Siegrist, 2021; Yang et al., 2022). Em um desses estudos, a duração da fase de familiarização foi de 20 minutos (Gouton et al., 2021). Os demais não relataram o tempo gasto na execução da familiarização, mas não havia um tempo pré-determinado, sendo finalizada quando os participantes se sentiram confortáveis e seguros para realizarem o protocolo.

Outros quatro estudos propõem uma fase de exploração da tecnologia digital, que consistia em os participantes apenas serem expostos aos estímulos digitais a fim de adaptarem a simulação virtual e, em alguns casos, explorarem livremente o ambiente (Andersen, Kraus, Ritz, & Bredie, 2019; Chen et al., 2020; Liu et al., 2019; Sinesio, Moneta, et al., 2019). Portanto, diferenciam-se dos cinco citados anteriormente por não executarem uma tarefa específica de treinamento para posterior execução de uma determinada atividade. O tempo proposto para essa fase de exploração variou de 20 a 150 segundos.

Siegrist et al. (2019) verificaram que os participantes precisaram de mais tempo para realizar uma das tarefas do estudo no ambiente virtual, justificado pelo fato de explorarem em maior extensão esse ambiente que era menos familiar. Entretanto, quando eles tiveram a oportunidade de se familiarizar com a RV e testar algumas de suas possibilidades, o comportamento de busca de informações nas condições de RV e real foram comparáveis. Portanto, os autores sugeriram que para se atingir um comportamento realista das pessoas em uma condição de RV, é necessária uma familiarização com a tecnologia e suas possibilidades, caso contrário, eles estão mais focados em explorar a RV do que na tarefa que são solicitados a resolver.

Yang et al. (2022) compararam os dados coletados na fase de treinamento com da sessão final de RV, a fim de avaliarem se a novidade da experiência de RV afetou a respostas

dos consumidores (emocional e aceitação) ao produto avaliado (cervejas). Algumas respostas emocionais tais como “contente”, “excitado” e “curioso” foram significativamente maiores ($p < 0.05$) na fase de treinamento em comparação com a sessão final de RV. Além disso, a emoção nostálgica que se aproximou da significância, também teve maior percepção na fase de treinamento. Em geral, os autores observaram que a fase de treinamento de RV evocou maior entusiasmo e curiosidade nos consumidores ao provarem as cervejas, justificado pelo fato de relataram as emoções em relação a experiência com a RV e não propriamente como se sentiram em relação as cervejas. A novidade do ambiente de RV vivenciada na sessão de treinamento mostrou ter impacto na resposta emocional dos consumidores à cerveja, destacando a importância de incluir uma sessão de treinamento/familiarização para ajudar a neutralizar a novidade criada pela tecnologia.

Em um dos cinco estudos que foi proposto uma fase de familiarização, os autores observaram uma diferença significativa em termos de distração para um dos produtos (carne bovina) entre os ambientes avaliados (cabine sensorial e RV), com os participantes registrando níveis mais altos de distração quando imersos na RV, mesmo sendo realizada a fase de familiarização. Contudo, esse efeito não foi significativo para o chocolate, embora tenha se aproximado da significância, com pontuações indicando que o ambiente de RV leva a uma maior distração do que a cabine sensorial. Sendo assim, os autores foram enfáticos ao afirmarem que esforços para minimizar possíveis distrações contidas em um ambiente imersivo de RV são necessários para melhor o valor e a confiabilidade dos dados gerados usando esse método (Crofton et al., 2021).

O tempo gasto em RV impacta no realismo e na imersão dos consumidores no contexto e na tarefa solicitada. Quanto mais tempo os participantes forem expostos à RV, conseqüentemente maior sua sensação de realismo e imersão. Por esta razão, é aconselhável dar tempo suficiente para os participantes experimentarem o ambiente de RV e se ajustarem a ele antes de iniciar qualquer tarefa de avaliação (Yang et al., 2022).

O nível de distração também parece diminuir pelo aumento da exposição à tecnologia, em casos de sessões subsequentes dos testes com um intervalo de tempo entre elas, mesmo quando não é antecedido pela fase de familiarização. Em um dos estudos incluídos nesta revisão, em que foi realizada duas sessões de teste com intervalo de três semanas entre elas, os participantes perceberam os ambientes imersivos com menor distração na segunda sessão comparado à primeira, causado pela adaptação às possíveis distrações em uma segunda exposição (Hathaway & Simons, 2017).

A familiarização em um contexto de RV não relacionado ao teste definitivo demonstrou ser eficaz para garantir que os participantes mantenham o foco nas tarefas às quais são solicitados e reduzir o efeito novidade da tecnologia. Entretanto, ainda que o contexto possa ser diferente, é importante que a tarefa principal seja abordada e treinada nesse contexto (Gouton et al., 2021; Siegrist et al., 2019). Em apenas dois dos cinco estudos, a familiarização foi em um contexto aleatório do teste final (Gouton et al., 2021; Siegrist et al., 2019).

Por fim, a fase de familiarização também pode ser útil como um método de triagem de ocorrência da doença cibernética nos participantes que possam vir a manifestá-la. A fase de familiarização torna-se importante para medir o grau da doença cibernética e/ou os desconfortos experimentados por cada participante, e assim, determinar sua permanência ou não no painel sensorial, a fim de controlar esses efeitos nos resultados experimentais (Wang et al., 2021). A doença cibernética é tipicamente categorizada como uma forma de doença de movimento visualmente induzida (VIMS), que descreve qualquer doença produzida pela observação do movimento visual, resultante da imersão em um mundo virtual gerado por computador com prevalência de sintomas de desorientação (Guna et al., 2019; Weech et al., 2019). Os desencontros entre as sensações sentidas e observadas e os atributos de exibição visual podem induzir sintomas adversos que variam de desconforto à mal-estar, como enjoos, náuseas, dores de cabeça, tontura e ansiedade (Servotte et al., 2020).

7. Vantagens e limitações dos ambientes virtuais em pesquisas sensoriais e com consumidores

As RV e RA fornecem vantagens por permitir avaliar e modular contextos específico e/ou múltiplos, os fatores externos no consumo do produto e o comportamento do consumidor, simular um ambiente muito próximo ao real, facilitando a criação de condições ambientais que seriam difíceis, desafiadoras e inviáveis (inclusive, economicamente), manter o controle experimental e a padronização (os estímulos externos são iguais para os participantes) e, ainda, associar com a coleta de outras medidas (fisiológicas e psicológicas) (Chai et al., 2022; Giezenaar & Hort, 2021).

Em contrapartida, também apresentam suas limitações e desafios, tais como: pode acontecer de despertar o sentimento de uma experiência artificial ao invés de natural, em situações em que ocorre pouca ou ausência de imersão e senso de presença, na avaliação de alimentos pode haver dificuldades na utilização dos óculos quando o participante precisa

experimentalmente o alimento (Wang et al., 2021). Outro ponto importante de destacar é que os ambientes virtuais não substituem completamente os ambientes reais, uma vez que, é difícil simular em totalidade e complexidade ao ambiente real. Embora o ser humano habitualmente se adapte com facilidade as situações as quais são expostos, a experiência real pode estimular de forma única e imensurável o comportamento que no contexto simulado virtualmente não se consegue reproduzir.

8. Considerações finais

As descobertas dos estudos revisados neste artigo indicam que os ambientes virtuais são ferramentas promissoras nas áreas de análise sensorial e desenvolvimento de produtos. Entretanto, o nível de imersão, o tempo de exposição, o tempo de treinamento/familiarização, o realismo e a ativação de múltiplos estímulos sensoriais são fatores importantes que devem ser considerados no uso dessas tecnologias, pois afetam as respostas dos participantes. Além disso, não é aconselhável o uso indiscriminado dessas tecnologias digitais, sendo importante considerar em que situações são realmente aplicáveis diante dos diversos contextos que um mesmo alimento pode ser consumido e até que ponto um ambiente direcionado pode ser benéfico em um teste sensorial com consumidores. Com isso, deve-se avaliar a melhor forma de incorporar o contexto para estimular experiências vívidas e realistas de consumo.

Esta revisão ainda sugere a importância de uma fase de familiarização do participante com as tecnologias virtuais, pois embora não elimine completamente a possibilidade de distração no ambiente virtual, contribui para minimizar os efeitos da novidade, principalmente para participantes não habituados e, por ser, uma tarefa relativamente nova, impacta nas avaliações dos consumidores. O tempo de duração e/ou frequência de exposição na fase de familiarização com as tecnologias, ainda precisam ser mais investigados, mas é necessário que seja o suficiente para a adaptação do participante com a tecnologia. O uso de um contexto não relacionado ao teste definitivo é eficaz para a familiarização, desde que as atividades principais dos testes definitivos sejam abordadas e treinadas nesse contexto.

Referências Bibliográficas

- Andersen, I. N. S. K., Kraus, A. A., Ritz, C., & Bredie, W. L. P. (2019). Desires for beverages and liking of skin care product odors in imaginative and immersive virtual reality beach contexts. *Food Research International*, *117*, 10–18.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.01.027>

- Bicas, H. E. A. (2004). *Fisiologia da visão binocular*. 172–180.
- Catania, L. J., & Nicolitz, E. (2018). Artificial Intelligence and Its Applications in Vision and Eye Care. *Advances in Ophthalmology and Optometry*, 3(1), 21–38.
<https://doi.org/10.1016/j.yaoo.2018.04.001>
- Chai, J. J. K., O’Sullivan, C., Gowen, A. A., Rooney, B., & Xu, J. L. (2022). Augmented/mixed reality technologies for food: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 124, 182–194. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.04.021>
- Chen, Y., Huang, A. X., Faber, I., Makransky, G., & Perez-cueto, F. J. A. (2020). Assessing the Influence of Visual-Taste Congruency on Perceived Sweetness and Product Liking in Immersive VR. *Foods*, 9(4), 465. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/foods9040465>
- Cipresso, P., Giglioli, I. A. C., Raya, M. A., & Riva, G. (2018). The past, present, and future of virtual and augmented reality research: A network and cluster analysis of the literature. *Frontiers in Psychology*, 9, 2086. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02086>
- Crofton, E., Murray, N., & Botinestean, C. (2021). Exploring the Effects of Immersive Virtual Reality Environments on Sensory Perception of Beef Steaks and Chocolate. *Foods*, 10(6), 1154. <https://doi.org/10.3390/foods10061154>
- Crofton, E. C., Botinestean, C., Fenelon, M., & Gallagher, E. (2019). Potential applications for virtual and augmented reality technologies in sensory science. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 56, 102178.
<https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.102178>
- Danner, L., Ristic, R., Johnson, T. E., Meiselman, H. L., Hoek, A. C., Jeffery, D. W., & Bastian, S. E. P. (2016). Context and wine quality effects on consumers’ mood, emotions, liking and willingness to pay for Australian Shiraz wines. *Food Research International*, 89, 254–265. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.08.006>
- Delarue, J., Brassat, A. C., Jarrot, F., & Abiven, F. (2019). Taking control of product testing context thanks to a multi-sensory immersive room. A case study on alcohol-free beer. *Food Quality and Preference*, 75, 78–86. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2019.02.012>
- Dickinson, P., Gerling, K., Wilson, L., & Parke, A. (2020). Virtual reality as a platform for research in gambling behaviour. *Computers in Human Behavior*, 107, 106293.
<https://doi.org/10.1016/j.chb.2020.106293>
- Drake, M. A. (2007). Invited review: Sensory analysis of dairy foods. *Journal of Dairy Science*, 90(11), 4925–4937. <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0332>
- Flavián, C., Ibáñez-Sánchez, S., & Orús, C. (2019). The impact of virtual, augmented and mixed reality technologies on the customer experience. *Journal of Business Research*,

- 100, 547–560. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2018.10.050>
- Flavián, C., Ibáñez-Sánchez, S., & Orús, C. (2021). The influence of scent on virtual reality experiences: The role of aroma-content congruence. *Journal of Business Research*, *123*, 289–301. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.09.036>
- Freeman, D., Reeve, S., Robinson, A., Ehlers, A., Clark, D., Spanlang, B., & Slater, M. (2017). Virtual reality in the assessment, understanding, and treatment of mental health disorders. *Psychological Medicine*, *47*(14), 2393–2400. <https://doi.org/10.1017/S003329171700040X>
- Freeman, J., Avons, S. E., Meddis, R., Pearson, D. E., & Ijsselstein, W. (2000). Using behavioral realism to estimate presence: A study of the utility of postural responses to motion stimuli. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, *9*(2), 149–164. <https://doi.org/10.1162/105474600566691>
- Giezenaar, C., & Hort, J. (2021). A narrative review of the impact of digital immersive technology on affective and sensory responses during product testing in digital eating contexts. *Food Research International*, *150*, 110804. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110804>
- Giménez, A., Gagliardi, A., & Ares, G. (2015). Influence of evoked contexts on consumers' rejection of two products: Implications for shelf life estimation. *Food Research International*, *76*, 527–531. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.06.041>
- Gouton, M. A., Dacremont, C., Trystram, G., & Blumenthal, D. (2021). Validation of food visual attribute perception in virtual reality. *Food Quality and Preference*, *87*, 104016. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2020.104016>
- Gregg, L., & Tarrier, N. (2007). Virtual reality in mental health. A review of the literature. *Social Psychiatry and Psychiatric Epidemiology*, *42*(5), 343–354. <https://doi.org/10.1007/s00127-007-0173-4>
- Guna, J., Geršak, G., Humar, I., Song, J., Drnovšek, J., & Pogačnik, M. (2019). Influence of video content type on users' virtual reality sickness perception and physiological response. *Future Generation Computer Systems*, *91*, 263–276. <https://doi.org/10.1016/j.future.2018.08.049>
- Hathaway, D., & Simons, C. T. (2017). The impact of multiple immersion levels on data quality and panelist engagement for the evaluation of cookies under a preparation-based scenario. *Food Quality and Preference*, *57*, 114–125. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2016.12.009>
- Hersleth, M., Mevik, B. H., Næs, T., & Guinard, J. X. (2003). Effect of contextual factors on

- liking for wine - Use of robust design methodology. *Food Quality and Preference*, 14(7), 615–622. [https://doi.org/10.1016/S0950-3293\(02\)00190-8](https://doi.org/10.1016/S0950-3293(02)00190-8)
- Higuera-Trujillo, J. L., Maldonado, J. L. T., & Millián, C. L. (2017). Psychological and physiological human responses to simulated and real environments: A comparison between Photographs, 360° Panoramas, and Virtual Reality. *Applied Ergonomics*, 65, 398–409. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2017.05.006>
- Jaeger, S. R., Hort, J., Porcherot, C., Ares, G., Pecore, S., & MacFie, H. J. H. (2017). Future directions in sensory and consumer science: Four perspectives and audience voting. *Food Quality and Preference*, 56, 301–309. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2016.03.006>
- Jaeger, S. R., & Porcherot, C. (2017). Consumption context in consumer research: methodological perspectives. *Current Opinion in Food Science*, 15, 30–37. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2017.05.001>
- Kim, S. E., Lee, S. M., & Kim, K. O. (2016). Consumer acceptability of coffee as affected by situational conditions and involvement. *Food Quality and Preference*, 52, 124–132. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2016.04.008>
- Kong, Y., Sharma, C., Kanala, M., Thakur, M., Li, L., Xu, D., ... Torrico, D. D. (2020). Virtual reality and immersive environments on sensory perception of chocolate products: A preliminary study. *Foods*, 9(4), 515. <https://doi.org/10.3390/foods9040515>
- Ledoux, T., Nguyen, A. S., Bakos-Block, C., & Bordnick, P. (2013). Using virtual reality to study food cravings. *Appetite*, 71, 396–402. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2013.09.006>
- Li, X., Yi, W., Chi, H. L., Wang, X., & Chan, A. P. C. (2018). A critical review of virtual and augmented reality (VR/AR) applications in construction safety. *Automation in Construction*, 86, 150–162. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.11.003>
- Liu, R., Hannum, M., & Simons, C. T. (2019). Using immersive technologies to explore the effects of congruent and incongruent contextual cues on context recall, product evaluation time, and preference and liking during consumer hedonic testing. *Food Research International*, 117, 19–29. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.04.024>
- Lombard, M., & Ditton, T. (1997). At the heart of it all: The concept of presence. *Journal of Computer-Mediated Communication*, 3(2), JCMC321. <https://doi.org/10.1111/j.1083-6101.1997.tb00072.x>
- Low, J. Y. Q., Lin, V. H. F., Yeon, L. J., & Hort, J. (2021a). Considering the application of a mixed reality context and consumer segmentation when evaluating emotional response to tea break snacks. *Food Quality and Preference*, 88, 104113.

- <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2020.104113>
- Low, J. Y. Q., Diako, C., Lin, V. H. F., Yeon, L. J., & Hort, J. (2021b). Investigating the relative merits of using a mixed reality context for measuring affective response and predicting tea break snack choice. *Food Research International*, *150*, 110718. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110718>
- Lusk, K. A., Hamid, N., Delahunty, C. M., & Jaeger, S. R. (2015). Effects of an evoked refreshing consumption context on hedonic responses to apple juice measured using best-worst scaling and the 9-pt hedonic category scale. *Food Quality and Preference*, *43*, 21–25. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2015.01.007>
- Meyners, M. ., & Castura, J. C. (2014). Check-All-That-Apply Questions. In P. . VARELA & G. ARES (Eds.), *Novel Techniques in Sensory Characterization and Consumer Profiling* (pp. 271–305). New York: CRC Press Taylor & Francis Group.
- Milgram, P., Takemura, H., Utsumi, A., & Kishino, F. (1995). Augmented reality: a class of displays on the reality-virtuality continuum. *Telemanipulator and Telepresence Technologies*, *2351*, 282–292. <https://doi.org/10.1117/12.197321>
- Oliver, J. H. & Hollis, J. H. (2021). Virtual reality as a tool to study the influence of the eating environment on eating behavior: A feasibility study. *Foods*, *10*(1), 89. <https://doi.org/10.3390/foods10010089>
- Park, M. J., Kim, D. J., Lee, U., Na, E. J., & Jeon, H. J. (2019). A Literature Overview of Virtual Reality (VR) in Treatment of Psychiatric Disorders: Recent Advances and Limitations. *Frontiers in Psychiatry*, *10*, 505. <https://doi.org/10.3389/fpsyt.2019.00505>
- Pennanen, K., Närväinen, J., Vanhatalo, S., Raisamo, R., & Sozer, N. (2020). Effect of virtual eating environment on consumers' evaluations of healthy and unhealthy snacks. *Food Quality and Preference*, *82*, 103871. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2020.103871>
- Piqueras-Fiszman, B., & Jaeger, S. R. (2014). Emotion responses under evoked consumption contexts: A focus on the consumers' frequency of product consumption and the stability of responses. *Food Quality and Preference*, *35*, 24–31. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2014.01.007>
- Servotte, J. C., Goosse, M., Campbell, S. H., Dardenne, N., Pilote, B., Simoneau, I. L., ... Ghuysen, A. (2020). Virtual Reality Experience: Immersion, Sense of Presence, and Cybersickness. *Clinical Simulation in Nursing*, *38*, 35–43. <https://doi.org/10.1016/j.ecns.2019.09.006>
- Siegrist, M., Ung, C. Y., Zank, M., Marinello, M., Kunz, A., Hartmann, C., & Menozzi, M. (2019). Consumers' food selection behaviors in three-dimensional (3D) virtual reality.

- Food Research International*, 117, 50–59. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.02.033>
- Sinesio, F., Saba, A., Peparaio, M., Saggia Civitelli, E., Paoletti, F., & Moneta, E. (2019a). Reprint of “Capturing consumer perception of vegetable freshness in a simulated real-life taste situation.” *Food Research International*, 117, 2–9. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.10.084>
- Sinesio, F., Moneta, E., Porcherot, C., Abbà, S., Dreyfuss, L., Guillamet, K., ... McEwan, J. A. (2019b). Do immersive techniques help to capture consumer reality? *Food Quality and Preference*, 77, 123–134. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2019.05.004>
- Skarbez, R., Brooks, F. P., & Whitton, M. C. (2017). A survey of presence and related concepts. *ACM Computing Surveys*, 50(6), 1-39. <https://doi.org/10.1145/3134301>
- Skarbez, R., Neyret, S., Brooks, F. P., Slater, M., & Whitton, M. C. (2017). A Psychophysical Experiment Regarding Components of the Plausibility Illusion. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 23(4), 1322–1331. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2017.2657158>
- Slater, M. (2009). Place illusion and plausibility can lead to realistic behaviour in immersive virtual environments. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1535), 3549–3557. <https://doi.org/10.1098/rstb.2009.0138>
- Slater, M., & Sanchez-Vives, M. V. (2016). Enhancing our lives with immersive virtual reality. *Frontiers Robotics and AI*, 3, 1–47. <https://doi.org/10.3389/frobt.2016.00074>
- Stelick, A., & Dando, R. (2018). Thinking outside the booth — the eating environment, context and ecological validity in sensory and consumer research. *Current Opinion in Food Science*, 21, 26–31. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2018.05.005>
- Stelick, A., Penano, A. G., Riak, A. C., & Dando, R. (2018). Dynamic Context Sensory Testing—A Proof of Concept Study Bringing Virtual Reality to the Sensory Booth. *Journal of Food Science*, 83(8), 2047–2051. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14275>
- Tori, R., & Hounsell, M. da S. (2018). Introdução a Realidade Virtual e Aumentada. In *Journal of Chemical Information and Modeling*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Tori, R., Kirner, C., & Siscoutto, R. (2006). Fundamentos e tecnologia de Realidade Virtual e Aumentada. In *Fundamentos e Tecnologia de Realidade Virtual e Aumentada*. Belém - PA: Sociedade Brasileira de Computação (SBC).
- Torricco, D. D., Sharma, C., Dong, W., Fuentes, S., Gonzalez Viejo, C., & Dunshea, F. R. (2021). Virtual reality environments on the sensory acceptability and emotional responses of no- and full-sugar chocolate. *LWT – Food Science and Technology*, 137,

110383. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110383>
- Wang, Q. J., Escobar, F. B., Da Mota, P. A., & Velasco, C. (2021). Getting started with virtual reality for sensory and consumer science: Current practices and future perspectives. *Food Research International*, *145*, 110410. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110410>
- Wang, Q. J., Meyer, R., Waters, S., & Zende, D. (2020). A dash of virtual milk: altering product color in virtual reality influences flavor perception of cold-brew coffee. *Frontiers in Psychology*, *11*, 595788. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.595788>
- Weech, S., Kenny, S., & Barnett-Cowan, M. (2019). Presence and cybersickness in virtual reality are negatively related: A review. *Frontiers in Psychology*, *10*, 158. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.00158>
- Xu, C., Siegrist, M., & Hartmann, C. (2021a). The application of virtual reality in food consumer behavior research: A systematic review. *Trends in Food Science and Technology*, *116*, 533–544. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.07.015>
- Xu, C., Demir-Kaymaz, Y., Hartmann, C., Menozzi, M., & Siegrist, M. (2021b). The comparability of consumers' behavior in virtual reality and real life: A validation study of virtual reality based on a ranking task. *Food Quality and Preference*, *87*, 104071. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2020.104071>
- Yang, Q., Nijman, M., Flintham, M., Tennent, P., Hidrio, C., & Ford, R. (2022). Improving simulated consumption context with virtual Reality: A focus on participant experience. *Food Quality and Preference*, *98*, 104531. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2022.104531>
- Yu, C. P., Lee, H. Y., & Luo, X. Y. (2018). The effect of virtual reality forest and urban environments on physiological and psychological responses. *Urban Forestry and Urban Greening*, *35*, 106–114. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.08.013>
- Yung, R., & Khoo-Lattimore, C. (2019). New realities: a systematic literature review on virtual reality and augmented reality in tourism research. *Current Issues in Tourism*, *22*(17), 2056–2081. <https://doi.org/10.1080/13683500.2017.1417359>
- Zhang, M. T. ., Jo, Y. ., Lopetcharat, K. ., & Drake, M. A. (2020). Comparison of a central location test versus a home usage test for consumer perception of ready-to-mix protein beverages. *Journal of Dairy Science*, *103*(4), 3107–3124. <https://doi.org/https://doi.org/10.3168/jds.2019-17260>
- Zinchenko, Y. P., Khoroshikh, P. P., Sergievich, A. A., Smirnov, A. S., Tumyalis, A. V., Kovalev, A. I., ... Golokhvast, K. S. (2020). Virtual reality is more efficient in learning

human heart anatomy especially for subjects with low baseline knowledge. *New Ideas in Psychology*, 59, 100786. <https://doi.org/10.1016/j.newideapsych.2020.100786>

ARTIGO 2

Artigo redigido conforme a norma da revista *Food Research International*.

“Versão Preliminar”

Potencial medida acústica biométrica e sua relação com respostas sensoriais do consumidor e instrumental

Potential biometric acoustic measurement and its relationship with consumer and instrumental sensory responses

RESUMO

Os objetivos deste estudo foram avaliar o desempenho de uma ferramenta biométrica sonora durante a mastigação de *wafers*, para validá-la como uma técnica de medida acústica alternativa as medidas instrumentais e prever as respostas sensoriais do consumidor, usando o sinal acústico como entrada dos modelos. O laringofone, um microfone de garganta, foi utilizado para registrar o sinal acústico durante a mastigação de cinco amostras de biscoito tipo *wafers* com variações nos níveis de crocância. Avaliou-se a aceitação das amostras em relação ao aspecto global, textura e ideal de crocância e textura instrumental. Os resultados indicaram que o corte do ruído de fundo na amplitude 100 no tempo de 5 s, é a melhor condição no desenvolvimento dos modelos de predição das respostas sensoriais e instrumental. Observou-se que o sinal acústico total aumentou juntamente com os escores sensoriais e inversamente com a resposta instrumental. Para se garantir um bom desempenho e capacidade de predição dos modelos é necessário, no mínimo, a coleta de respostas sensoriais de 60 provadores. Conclui-se que o laringofone é uma ferramenta biométrica alternativa capaz de avaliar a crocância de *wafers*, podendo ser utilizado como uma medida acústica para predição de resposta sensorial de consumidores, no controle de qualidade e no desenvolvimento de produtos.

Palavras-chave: Crocância. Sinal acústico. Resposta sensorial. Microfone de garganta. Modelos preditivos. Regressão. Mastigação.

1. Introdução

A textura dos alimentos é um atributo complexo e fundamental na percepção de qualidade e na aceitação de muitos produtos pelos consumidores, contribuindo para a escolha e a aquisição do alimento, uma vez que, envolve uma combinação de sensações humanas visuais, táteis, cinestésicas e auditivas (Andreani et al., 2020; Duizer, 2001). A textura refere-se a um grupo de características mecânicas-estruturais-acústicas distintas entre os alimentos, que sob ação de uma força, ocorre deformação e desintegração das partículas ao longo do processamento oral (Chen, 2009; James, 2018).

Dentre os atributos de textura, a crocância está relacionada ao comportamento de fratura/deformação da estrutura com emissão sonora ao morder e mastigar o alimento. O sinal acústico é o resultado das ondas sonoras geradas quando o alimento sob tensão, fratura rapidamente e depois se quebra. As partes restantes e quaisquer fragmentos produzidos durante a quebra retornam à sua configuração original, desencadeando as vibrações sonoras. Esse sinal acústico contribui positivamente para a experiência sensorial do consumidor e como um importante parâmetro de qualidade (Andreani et al., 2020; Chanvrier, Jakubczyk, Gondek, & Gummy, 2014; Duizer, 2001; Pocztaruk et al., 2011).

Os estudos confirmam a relevância dos sons produzidos durante a mastigação como o estímulo mais representativo na percepção da crocância. Ainda sugerem que a combinação de técnicas instrumentais e acústicas são mais eficientes do que uso dessas técnicas isoladamente para a descrição e predição da textura de alimentos crocantes (Andreani et al., 2020; Çarşamba, Duerschmid, & Schleining, 2018; Gouyo et al., 2020; Jakubczyk, Gondek, & Tryzno, 2017; Piazza & Giovenzana, 2015; Sanahuja, Fédou, & Briesen, 2018). Tradicionalmente, as medidas acústicas são coletadas por um microfone acoplado ao texturômetro. Ambas as técnicas buscam simular o processo mastigatório humano, captando o som do que seria a primeira mordida (Andreani et al., 2020; Çarşamba et al., 2018; Gouyo et al., 2020; Jakubczyk et al., 2017; Piazza & Giovenzana, 2015). No entanto, o uso do microfone apresenta algumas desvantagens como as variações no desempenho do equipamento, a influência das condições experimentais (tamanho da sala, ruído ambiental) e as limitações quanto a simulação real do processamento oral humano (as frequências de ressonância da cavidade bucal e do osso craniano conectado à boca, a taxa e incorporação de salivação) (Iwatani, Akimoto, & Sakurai, 2013).

Ainda que essas metodologias instrumentais e acústicas sejam amplamente utilizadas, em algumas situações, podem não ser completamente satisfatórias para explicar a relação

entre a estrutura alimentar e a percepção de textura pelo consumidor. Sendo assim, é necessário considerar a interação entre os aspectos fisiológicos do processamento oral e a experiência sensorial durante o progresso da mastigação (Andreani et al., 2020; Engelen & Van der Bilt, 2008). O conhecimento dessa interação é importante para as indústrias alimentícias no controle de qualidade, garantindo a permanência e aceitabilidade de seus produtos em um mercado cada mais competitivo.

Diante do exposto, é fundamental avaliar a aplicação de ferramentas alternativas que consigam traçar a percepção sensorial de textura com base no processamento oral, a fim de auxiliarem no desenvolvimento de produtos e controle de qualidade. A biometria é uma das técnicas emergentes que representa uma nova tendência na ciência sensorial e contribui para complementar os procedimentos padrões. As técnicas biométricas buscam obter medidas comportamentais e fisiológicas não invasivas dos indivíduos que possam refletir as respostas subconscientes (motivacionais e afetivas) em relação aos alimentos (Pedersen et al., 2021; Viejo, Fuentes, Howell, Torrico, & Dunshea, 2019, 2018).

No presente trabalho propôs-se avaliar o desempenho de uma ferramenta biométrica sonora durante a mastigação de um alimento crocante para validá-la como uma técnica de medida acústica do processamento oral alternativa as medidas instrumentais e prever as respostas sensoriais do consumidor com base no sinal acústico obtido.

2. Materiais e métodos

2.1 Preparação das amostras

Neste estudo foi utilizado biscoito tipo *wafers* sabor chocolate com três camadas de recheio da marca comercial Bauducco[®], adquirido no comércio local da cidade de Lavras – MG. Os dois primeiros e últimos biscoitos de cada embalagem foram descartados para evitar amostras danificadas, utilizando apenas biscoitos íntegros. As amostras do mesmo lote de fabricação apresentaram, em média, 81 mm de comprimento, sendo cada *wafers* fracionado em três pedaços com média de 26.83 ± 1.30 mm.

O preparo das amostras foi de acordo com Maruyama, Arce, Ribeiro e Costa (2008), com adaptações. As amostras foram aleatorizadas em dessecadores com teor de umidade ajustado, usando soluções salinas saturadas de cloreto de sódio e permaneceram o tempo necessário para a modificação na textura, confirmada por análise no texturômetro (descrita no item 2.2), compondo os tratamentos: T2 (2 horas e 30 minutos), T4 (4 horas e 30 minutos) T6

(6 horas e 30 minutos) e T8 (8 horas e 30 minutos). Esse tempo de permanência no dessecador foi cronometrado após a estabilidade da umidade relativa medida, por meio, de termo-higrômetros digitais (modelo 9690.02.0.00, Incoterm TH50), atingindo umidade final, em média, de 50.5%. Após esse tempo, as amostras foram retiradas, envoltas por papel alumínio, embaladas a vácuo (TM – 250; TecMaq, SP, Brasil) em sacos de nylon-polietileno e reservadas até o momento da análise sensorial. Para o tratamento T0, abriu-se a embalagem original de *wafers* no momento da análise sensorial, sendo usada dentro de, no máximo, uma hora.

2.2 Análise de textura

A medida mecânica foi realizada em um texturômetro (TA.XT plus, Stable Micro Systems Ltd. (SMS), Godalming, Surrey, Reino Unido) e para o teste de cisalhamento utilizou-se uma lâmina retangular de aço inoxidável modelo HDP/BS *guillotine blade*. Foram obtidas seis amostras aleatórias por tratamento e cisalhadas ao meio, onde a estrutura é considerada mais homogênea, com velocidade de 3 mm/s. A força máxima (N) necessária para cisalhar completamente cada amostra foi medida (Sanahuja et al., 2018).

2.3 Análises acústica e sensorial

A aprovação das questões éticas do estudo foi obtida pelo Comitê de Ética em Pesquisas com Seres Humanos (COEP) da Universidade Federal de Lavras (UFLA), sob o código CAAE: 17560619.6.0000.5148 e os voluntários assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE). As análises foram realizadas por 39 provadores com condições dentárias normais em 3 repetições no Laboratório de Análise Sensorial do Departamento de Ciência dos Alimentos da UFLA, MG, Brasil, em condições ideais, sob luz branca, em cabines individuais e isentas de barulho externo.

2.3.1 Análise acústica do processamento oral

O som emitido durante o processamento oral de cada uma das cinco amostras de *wafers* foi registrado pelo equipamento laringofone (Modelo Laringofone R-151; Retevis, Alemanha), um microfone de garganta. Após o consentimento do provador, este equipamento foi posicionado em torno da laringe (pescoço) próximo à mandíbula, conforme pode ser

observado na Figura 1. O laringofone estava conectado a um computador para aquisição dos dados.

Os provadores foram instruídos a clicarem no *start* e, imediatamente, iniciarem o processamento oral, mastigando naturalmente as amostras. Durante o tempo de registro do som, também foram instruídos a evitarem manifestações sonoras como tosse, limpeza da garganta, falar ou qualquer outro tipo de ruído, devido à alta sensibilidade dos sensores por capturarem qualquer tipo de ruído no pescoço. Em casos que ocorreram alguns dos episódios citados anteriormente, foi realizado novamente o registro sonoro.

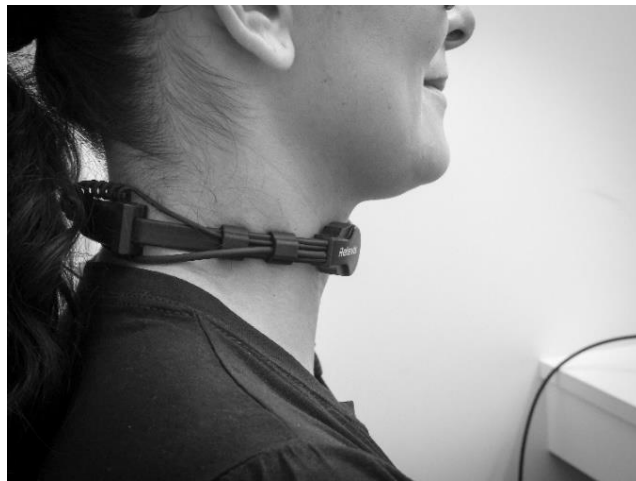


Figura 1 – Posicionamento do laringofone no pescoço do provador.

O laringofone utilizado para a coleta dos dados converte os sinais de vibração da superfície da pele em sinais acústicos com uma faixa dinâmica de 50 ± 3 dB e uma faixa de frequência de 20 Hz – 20 kHz, que é capaz de captar sons da mastigação e deglutição, abrangendo a faixa de frequências da audição humana (Andreani et al., 2020; Bi et al., 2016).

Para a aquisição de dados utilizou-se o software CSA.exe, no qual, se registrou a frequência (amplitude) do som gerado pelas amostras durante a mastigação até a deglutição no tempo de registro de 10 segundos (s) com uma taxa de amostragem de 44.100 Hertz (Hz). O tempo de 10 s foi determinado em pré-testes.

2.3.2 Análise sensorial

A análise sensorial foi realizada após a mensagem de término do registro acústico do processamento oral das amostras. O provador foi instruído avaliar o quanto gostou ou desgostou das amostras e a quantificar o ideal de crocância. Para o teste de aceitação, o

provador julgou os atributos sensoriais de textura e aspecto global das amostras, por meio, de uma escala hedônica estruturada de 9 pontos (1= desgostei extremamente a 9= gostei extremamente) (Stone & Sidel, 1985).

Em seguida, avaliaram as mesmas em função do quão ideal encontrava-se a crocância nos cinco tratamentos, por meio, de uma escala não estruturada de 9 cm, na qual, a extremidade esquerda era ancorada com o termo “extremamente menos crocante que o ideal”, no centro “crocância ideal” e, na extremidade direita com “extremamente mais crocante que o ideal”. As notas das amostras foram obtidas medindo, com auxílio de uma régua, as marcações feitas pelos provadores, considerando a extremidade esquerda (0 cm), centro (4,5 cm) e direita (9 cm).

2.4 Análise de dados

O desenvolvimento dos modelos preditivos pode ser dividido em três fases. A primeira fase para análise dos dados consistiu no pré-processamento do conjunto de dados da análise acústica do processamento oral. As amplitudes acústicas negativas foram zeradas, por serem espelhos das amplitudes positivas. Em seguida, os primeiros 3000 Hz, correspondentes a aproximadamente 0.1 segundo, de cada avaliador foram excluídos por conter alto nível de aleatoriedade (ruído) e as amplitudes restantes foram somadas.

A segunda fase consistiu em otimizar o nível de corte do ruído de fundo (amplitude 0, 50, 100 ou 150) e o tempo de aquisição dos dados (de 2 a 10 s). Para cada condição, os *outliers* foram detectados e removidos do conjunto de dados. O critério usado foi somatório de amplitude maior que três vezes o 75º percentil para os cinco tratamentos (T0, T2, T4, T6 e T8) (Brownlee, 2020). Por fim, a média dos somatórios de amplitude dos provadores para cada tratamento foi calculada, gerando o denominado sinal acústico total.

Em seguida, os valores médios dos sinais acústicos totais de cada tratamento (X) foram calibrados em relação à média dos escores sensoriais de aspecto global, de textura e ideal de crocância (Y) e também em relação à medida mecânica de força máxima (N) usando regressão por mínimos quadrados. O critério usado para seleção da melhor condição foi a maximização do coeficiente de determinação (R^2) médio para as respostas sensoriais e instrumental.

Após determinadas as condições ótimas, a terceira e última fase foi a validação dos modelos preditivos. A validação foi realizada utilizando *bootstrapping*, que envolve selecionar aleatoriamente um subconjunto de observações do conjunto de dados original para

testar a capacidade preditiva do modelo (Kiralj & Ferreira, 2009). Para isto, de 10 a 100 respostas sensoriais foram selecionados aleatoriamente do conjunto de dados original. O sinal acústico total resultante dos n provadores foi usado como entrada nos modelos para predição dos parâmetros sensoriais e instrumental. Este processo foi repetido 10 vezes e o resultado expresso como a média.

Nesta etapa foram calculados os coeficientes de determinação (R^2) e o erro quadrático médio (RMSE) para cada modelo. As análises dos dados foram realizadas utilizando o software MATLAB® (MathWorks Inc, EUA) e o Microsoft Excel versão 2010.

3. Resultados e discussão

A Figura 2 ilustra a variação da amplitude acústica típica de um dos provadores gerada por uma amostra de *wafer* crocante durante a mastigação até a deglutição no tempo de registro estabelecido.

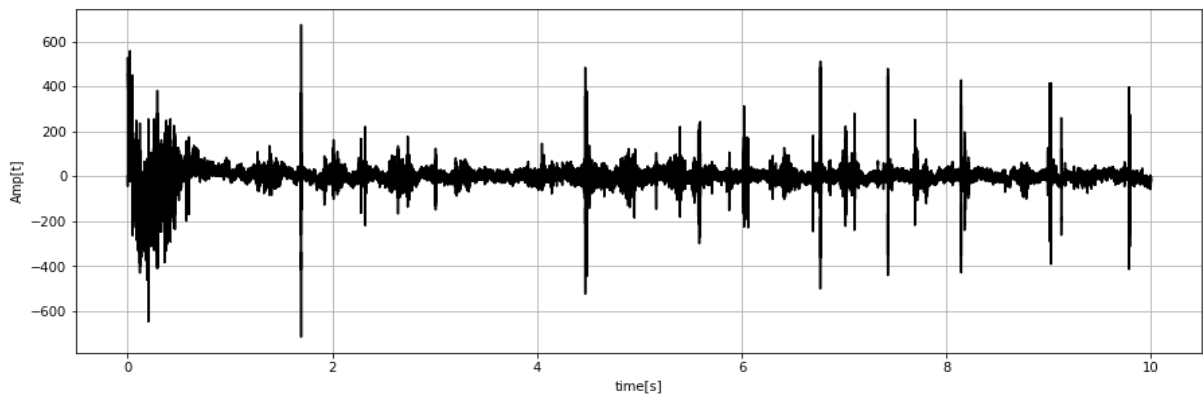


Figura 2 – Amplitude acústica em função do tempo para amostra de *wafer* crocante.

Inicialmente o nível de corte do ruído de fundo e o tempo de aquisição foram otimizados com objetivo de definir a melhor condição para obtenção de descritores para as respostas sensoriais e instrumental. Foram removidos 7 *outliers* nos tratamentos T0 e T4, 5 no T2, e 9 nos tratamentos T6 e T8. O fato de cortar o ruído de fundo resultou em melhoria na qualidade dos ajustes, uma vez que, em geral, os valores de R^2 nas condições com corte em amplitude 50, 100 e 150 foram maiores que na condição em que não houve corte de ruído de fundo (amplitude 0) (Figura 3). Em média, o corte do ruído de fundo na amplitude 100 resultou em maiores R^2 , principalmente considerando um tempo de 5 s, que apresentou R^2 mais próximo de 1 e se mostrou a melhor condição para construção dos modelos.

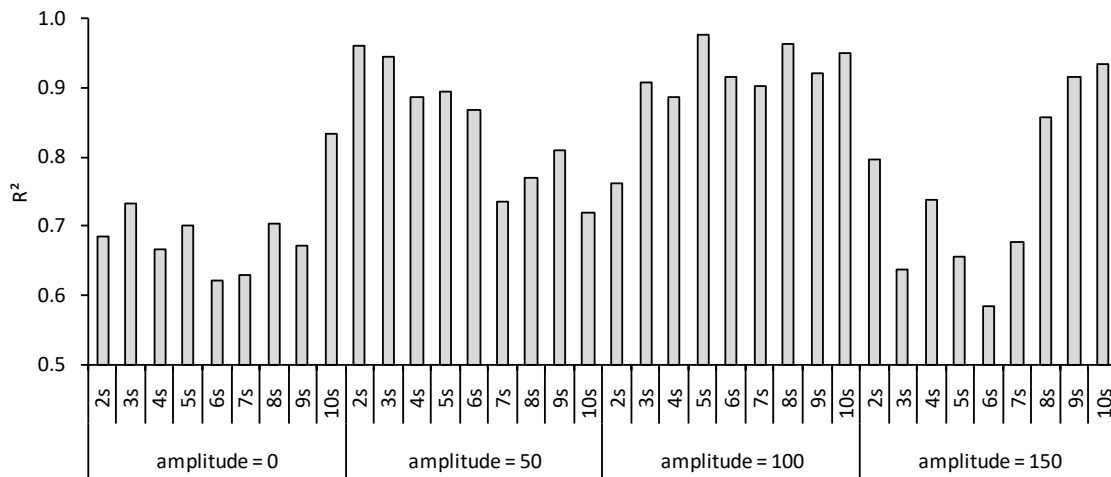


Figura 3 – Coeficientes de determinação (R^2) em relação ao nível de ruído de fundo (*background*) e o tempo (s).

Resultado similar foi encontrado por Çarşamba et al. (2018) ao avaliarem medidas acústicas de *wafer* com um microfone acoplado ao texturômetro. Os autores também verificaram que a emissão sonora máxima foi obtida nos primeiros 5 s, quando a primeira camada do *wafer* é rompida/fraturada pelo equipamento. Fisiologicamente, esse fato se justifica, em que a percepção de crocância será máxima durante as primeiras mordidas e depois tende a diminuir à medida que a mastigação progride com consequente redução do som, pois ocorre incorporação de saliva, hidratando o alimento (Duizer, 2001). Portanto, os primeiros segundos são mais relevantes para os alimentos crocantes secos e o laringofone demonstrou ser eficaz na captação dessas primeiras emissões sonoras, corroborando para validá-lo como uma medida biométrica alternativa de análise acústica.

Os modelos de regressão entre o sinal acústico total de cada tratamento contra os respectivos escores sensoriais (aspecto global, textura e ideal de crocância) e de força máxima (N) na condição ótima são apresentados na Figura 4.

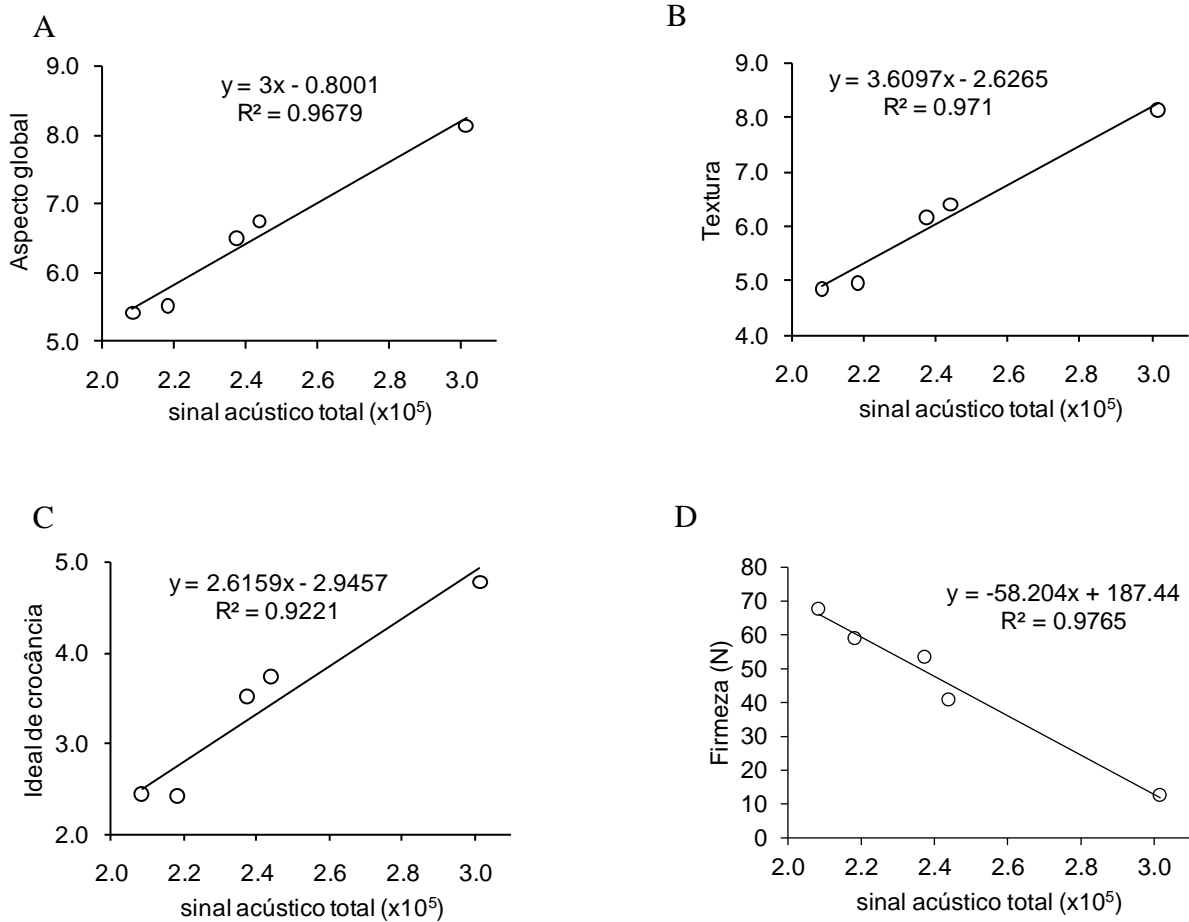


Figura 4 – Modelos preditivos, seus respectivos R^2 e as representações gráficas das curvas para os escores sensoriais de aspecto global (A), de textura (B) e ideal de crocância (C) e de força máxima (D).

O sinal acústico total mostrou ter relação linear positiva com as respostas sensoriais ($R^2 \geq 0,92$) e para a resposta instrumental (R^2 de 0.97) (Figura 4). Observa-se que o sinal acústico total aumentou juntamente com os escores sensoriais, ou seja, apresentaram uma relação diretamente proporcional. Esse resultado é condizente com o esperado, visto que, os tratamentos T0, T2 e T4 deveriam produzir um maior sinal acústico por serem mais crocantes comparados aos T6 e T8 e, conseqüentemente, obterem maiores escores sensoriais. Portanto, o laringofone foi capaz de captar as diferenças sonoras entre os tratamentos e que o sinal acústico refletiu um baixo ou alto nível de crocância do *wafer*.

Resultados similares foram verificados no trabalho de Gouyo et al. (2020) em que um aumento nos parâmetros acústicos de batatas fritas interferiu na resposta sensorial com o aumento no nível de percepção de crocância. Çarşamba et al. (2018) também confirmaram que

curvas altamente irregulares e numerosos picos acústicos com valores de amplitude elevados, mostraram um caráter crocante de amostras de *wafer*.

A força máxima, que é um indicador de dureza/firmeza da amostra, se relacionou inversamente com o sinal acústico (Figura 4.D), ou seja, quanto maior é a resistência mecânica ao cisalhamento, menor é o sinal acústico gerado pela amostra de *wafer*, indicando que a mesma é mais difícil de quebrar, isto é, menos crocante. Estudos anteriores também observaram esse comportamento de alguns parâmetros mecânico-acústico para *wafer* (Çarşamba et al., 2018) e snacks (Jakubczyk et al., 2017; Saeleaw, Dürschmid, & Schleining, 2012). Portanto, os estudos apontam que as medidas acústicas predizem melhor a percepção sensorial de crocância comparado com as medidas instrumentais, embora também exista uma boa correlação das medidas acústicas com as instrumentais. Por isso, torna-se imprescindível estudar novas ferramentas acústicas que auxiliem no controle de qualidade e desenvolvimento de produtos.

Um coeficiente de regressão alto e positivo ($R^2 = 0.80$) foi encontrado para prever a crocância sensorial da crosta de batatas fritas em função do número de picos de som comparado ao um coeficiente baixo ($R^2 = 0.26$) quando o modelo foi predito em função da força máxima (Gouyo et al., 2020).

No trabalho de Andreani et al. (2020) desenvolveram um sistema acústico com alta taxa de amostragem para caracterizar a crocância dos produtos padrão da *Spectrum Crispness Sensory Scale* e investigaram a correlação da análise sensorial a parâmetros instrumentais-acústicos. Seus resultados demonstraram que o sistema acústico foi capaz de discriminar os produtos crocantes e também comprovaram que, em geral, os parâmetros mecânicos não são altamente correlacionados com a crocância sensorial, enquanto os parâmetros acústicos apresentaram alta correlação linear com a escala sensorial.

Os resultados encontrados nesse trabalho, juntamente com os demais trabalhos mencionados anteriormente, demonstram a eficiência de medidas acústicas para a predição de respostas sensoriais de alimentos crocantes, embora seja importante destacar que as ferramentas para a captação do som foram diferentes. Todos os trabalhos encontrados utilizaram como medidas acústicas, o som captado por um microfone ou sensor conectado ao texturômetro. A presente pesquisa é a única que investigou o laringofone como uma ferramenta biométrica na coleta do som durante a mastigação para a predição de respostas sensoriais.

No estudo de Bi et al. (2016) empregou-se a abordagem biométrica sonora, o laringofone, porém com objetivo distinto da presente pesquisa. Os autores desenvolveram o

aplicativo denominado AutoDietary[®] para monitorar e reconhecer a ingestão alimentar diária do indivíduo, por meio, do laringofone, com o objetivo de melhorar os hábitos alimentares. O AutoDietary[®] apresentou alta precisão no reconhecimento do tipo de alimento (84.9%), principalmente na distinção de alimentos sólidos de líquidos. A classificação para a ingestão de alimentos líquidos e sólidos foi de até 97.6% e 99.7%, respectivamente. Embora o estudo apresente algumas limitações, como uma quantidade pequena de alimentos testados (apenas, 7) e de respostas coletadas (12 participantes), esses resultados corroboram para validar o laringofone como uma ferramenta de medida biométrica acústica.

Os modelos foram validados por *bootstrapping* com base no R^2 e RMSE médio, conforme apresentado na Figura 5.

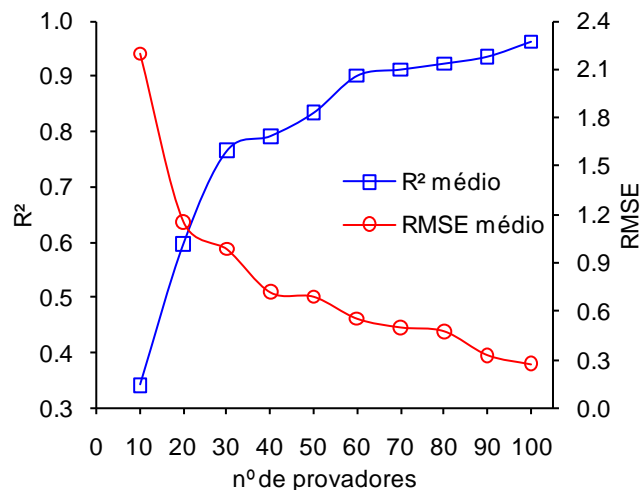


Figura 5 – Validação dos modelos preditos por *bootstrapping* com base no R^2 e RMSE médios dos parâmetros analisados.

De acordo com a Figura 5, verifica-se que quando um número pequeno de provadores foi considerado para gerar o sinal acústico total, o erro de predição foi alto. Por outro, a partir da consideração de 60 provadores, o erro de predição foi menor, levando a valores de R^2 mais elevados (> 0.9). Portanto, estes resultados sugerem que para garantir um bom desempenho e capacidade de predição dos modelos é necessário, no mínimo, a coleta de respostas sensoriais de 60 provadores.

A Figura 6 mostra as respostas sensoriais médias reais dadas pelos consumidores e os valores previstos pelos modelos, considerando o sinal acústico total obtido de 60 provadores no teste *bootstrapping*.

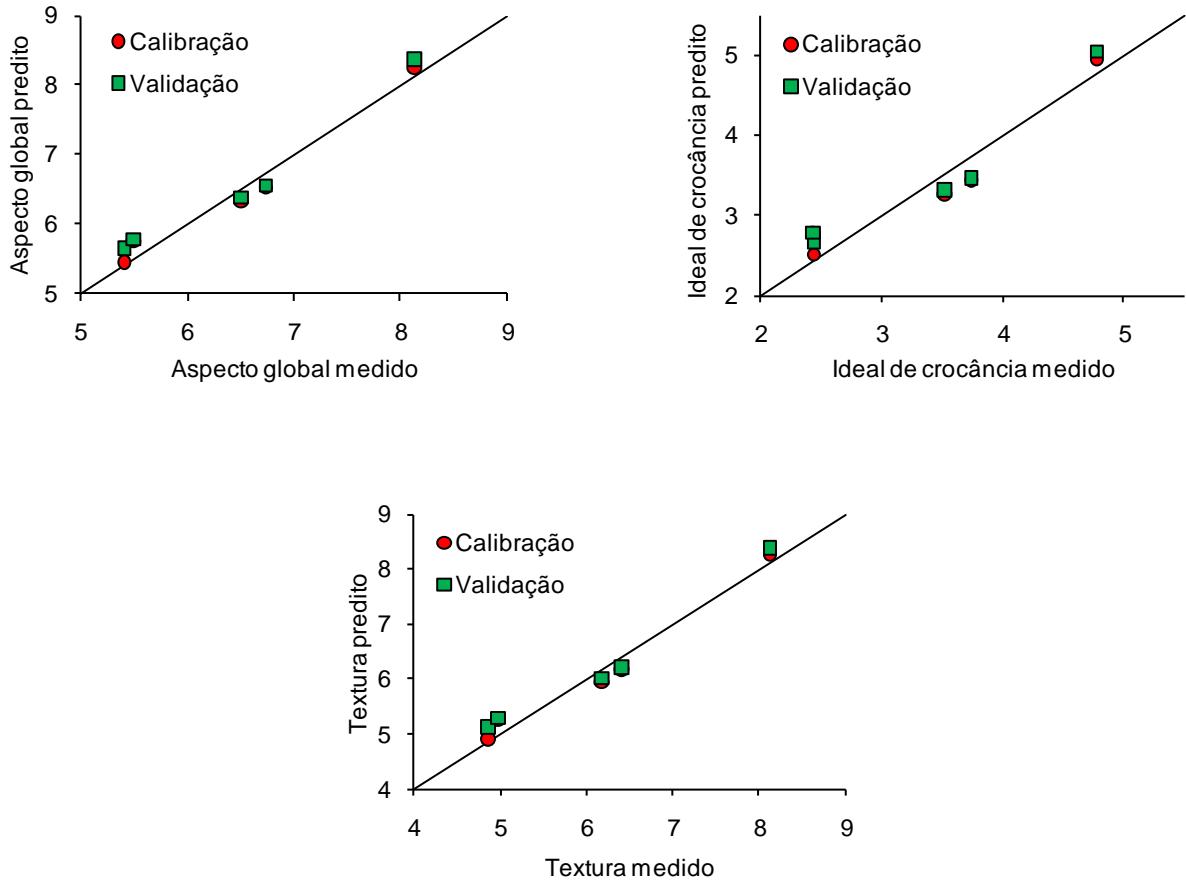


Figura 6 – Comparação gráfica dos escores sensoriais reais coletados na análise sensorial e preditos pelos modelos na fase de calibração e validação por *bootstrapping*.

Em geral, os escores sensoriais preditos foram muito próximos dos medidos, indicando uma boa compatibilidade entre os valores e a utilidade dos modelos propostos, assim como, o potencial do laringofone de servir como um parâmetro biométrico acústico para prever a crocância de *wafers*.

4. Conclusão

Os resultados indicaram que o corte do ruído de fundo na amplitude 100 no tempo de 5 s, se mostrou a melhor condição para construção dos modelos que apresentaram um excelente ajuste. O sinal acústico total mostrou ter uma relação linear positiva com os parâmetros avaliados, sendo diretamente proporcional as respostas sensoriais e inversamente a resposta instrumental. Por fim, para garantir um bom desempenho e capacidade de predição dos modelos é necessário, no mínimo, a coleta de respostas sensoriais de 60 provadores.

Portanto, o laringofone foi capaz de captar as diferenças sonoras entre os tratamentos e é uma ferramenta biométrica alternativa para prever com sucesso a resposta hedônica dos consumidores de biscoito tipo *wafers* em relação ao atributo crocância e aspecto global. Ainda apresenta como vantagem o baixo custo, sendo mais viável economicamente comparado a medida instrumental tradicional.

Pesquisas futuras são necessárias para investigar seu desempenho para outros tipos de alimentos e outras respostas sensoriais, a possibilidade de redução do número mínimo de repostas para construção de novos modelos, o uso do laringofone para avaliar o comportamento alimentar e possíveis distúrbios do padrão mastigatório.

Referências bibliográficas

- Andreani, P., de Moraes, J. O., Murta, B. H. P., Link, J. V., Tribuzi, G., Laurindo, J. B., ... Carciofi, B. A. M. (2020). Spectrum crispness sensory scale correlation with instrumental acoustic high-sampling rate and mechanical analyses. *Food Research International*, *129*, 108886. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108886>
- Bi, Y., Lv, M., Song, C., Xu, W., Guan, N., & Yi, W. (2016). AutoDietary: A Wearable Acoustic Sensor System for Food Intake Recognition in Daily Life. *IEEE Sensors Journal*, *16*(3), 806–816. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2015.2469095>
- Brownlee, J. (2020). How to Remove Outliers for Machine Learning. Retrieved December 18, 2020, from Machine Learning Mastery website: <https://machinelearningmastery.com/how-to-use-statistics-to-identify-outliers-in-data/>
- Çarşanba, E., Duerrschmid, K., & Schleining, G. (2018). Assessment of acoustic-mechanical measurements for crispness of wafer products. *Journal of Food Engineering*, *229*, 93–101. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.11.006>
- Chanvrier, H., Jakubczyk, E., Gondek, E., & Gumy, J. C. (2014). Insights into the texture of extruded cereals: Structure and acoustic properties. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, *24*, 61–68. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2013.11.013>
- Chen, J. (2009). Food oral processing-A review. *Food Hydrocolloids*, *23*(1), 1–25. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2007.11.013>
- Duizer, L. (2001). A review of acoustic research for studying the sensory perception of crisp, crunchy and crackly textures. *Trends in Food Science and Technology*, *12*(1), 17–24. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(01\)00050-4](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(01)00050-4)
- Engelen, L., & Van der Bilt, A. (2008). Oral physiology and texture perception of semisolids.

- Journal of Texture Studies*, 39(1), 83–113.
- Gouyo, T., Mestres, C., Maraval, I., Fontez, B., Hofleitner, C., & Bohuon, P. (2020). Assessment of acoustic-mechanical measurements for texture of French fries: Comparison of deep-fat frying and air frying. *Food Research International*, 131, 108947. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108947>
- Iwatani, S. I., Akimoto, H., & Sakurai, N. (2013). Acoustic vibration method for food texture evaluation using an accelerometer sensor. *Journal of Food Engineering*, 115(1), 26–32. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.09.015>
- Jakubczyk, E., Gondek, E., & Tryzno, E. (2017). Application of novel acoustic measurement techniques for texture analysis of co-extruded snacks. *LWT - Food Science and Technology*, 75, 582–589. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.10.013>
- James, B. (2018). Oral processing and texture perception influences satiation. *Physiology and Behavior*, 193, 238–241. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2018.03.015>
- Kiralj, R., & Ferreira, M. M. C. (2009). Basic validation procedures for regression models in QSAR and QSPR studies: Theory and application. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 20(4), 770–787. <https://doi.org/10.1590/S0103-50532009000400021>
- Maruyama, T. T., Arce, A. I. C., Ribeiro, L. P., & Costa, E. J. X. (2008). Time-frequency analysis of acoustic noise produced by breaking of crisp biscuits. *Journal of Food Engineering*, 86(1), 100–104. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.09.015>
- Pedersen, H., Quist, J. S., Jensen, M. M., Clemmensen, K. K. B., Vistisen, D., Jørgensen, M. E., ... Finlayson, G. (2021). Investigation of eye tracking, electrodermal activity and facial expressions as biometric signatures of food reward and intake in normal weight adults. *Food Quality and Preference*, 93, 104248. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2021.104248>
- Piazza, L., & Giovenzana, V. (2015). Instrumental acoustic-mechanical measures of crispness in apples. *Food Research International*, 69, 209–215. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.12.041>
- Pocztaruk, R. de L., Abbink, J. H., Wijk, R. A. de, Frasca, L. C. da F., Gavião, M. B. D., & van der Bilt, A. (2011). The influence of auditory and visual information on the perception of crispy food. *Food Quality and Preference*, 22(5), 404–411. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2010.11.008>
- Saeleaw, M., Dürschmid, K., & Schleining, G. (2012). The effect of extrusion conditions on mechanical-sound and sensory evaluation of rye expanded snack. *Journal of Food Engineering*, 110(4), 532–540. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.01.002>

- Sanahuja, S., Fédou, M., & Briesen, H. (2018). Classification of puffed snacks freshness based on crispiness-related mechanical and acoustical properties. *Journal of Food Engineering*, 226, 53–64. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.12.013>
- Stone, H. S., & Sidel, J. L. (1985). *Sensory evaluation practices*. London: Academic Press.
- Viejo, C. G., Fuentes, S., Howell, K., Torrico, D. D., & Dunshea, F. R. (2019). Integration of non-invasive biometrics with sensory analysis techniques to assess acceptability of beer by consumers. *Physiology and Behavior*, 200, 139–147. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2018.02.051>
- Viejo, C. G., Fuentes, S., Howell, K., Torrico, D., & Dunshea, F. R. (2018). Robotics and computer vision techniques combined with non-invasive consumer biometrics to assess quality traits from beer foamability using machine learning: A potential for artificial intelligence applications. *Food Control*, 92, 72–79. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.04.037>