

## ASPECTOS SENSORIAIS DO UMAMI

*Elba Sangronis  
Helena Maria Andre Bolini*

### 1. INTRODUÇÃO

Os fatores que influenciam a escolha dos alimentos em humanos são inúmeros, sendo o sabor um dos fatores determinantes por desencadear a complexa sensação de prazer (fator hedônico) durante o consumo dos mesmos.

Os aspectos psicológicos, sociais, econômicos e sensoriais desempenham fator decisivo na escolha dos alimentos (Bellisle, 2009).

Autores relatam que a escolha de um alimento em detrimento a outro está intimamente relacionada às características sensoriais (Mela, 2001).

O conhecimento de tais determinantes do consumo alimentar é uma ferramenta importante para a prevenção e mudança de comportamentos de risco bem como para direcionamento de escolhas e hábitos alimentares saudáveis (Bellisle, 2009; Kessler *et al.*, 2019).

A língua dos mamíferos contém receptores gustativos para cada um dos cinco gostos básicos, propulsionando direcionamentos hedônicos que foram formados durante a evolução humana para informar o que deve ser ou não ingerido (Chikazoe *et al.*, 2019).

As preferências e as aversões alimentares, desenvolvidas durante a infância e adolescência, são determinadas pelas características sensoriais dos alimentos (Sclafani, 2004), e estão relacionadas às escolhas alimentares durante toda a vida (Bellisle, 2009; Mikkilä *et al.*, 2004, Bauer & Reisch, 2019).

A análise sensorial é mundialmente aplicada em estudos para obter informações sobre percepção e comportamento humano, e também como instrumento de medida de sensibilidade gustativa para analisar o comportamento alimentar em diversos estados fisiológicos e patológicos, podendo ser citados estudos realizados com portadores de doença celíaca (Alencar *et al.*, 2012), tabagistas e não tabagistas (Voorpostel *et al.*, 2014), diabéticos (Mello *et al.*, 2010) e atletas antes e após o exercício físico (Steinle *et al.*, 2005).

Na percepção dos alimentos estão envolvidos os cinco sentidos, e a gustação tem importância determinante na aceitação, escolhas e aceitação de alimentos, sendo, portanto, fundamental para a manutenção do equilíbrio do organismo saudável.

O ácido glutâmico e os 5'-ribonucleotídeos, especificamente o inosina-5'-monofosfato ou inosinato (IMP) e o guanosina-5'-monofosfato ou guanilato (GMP) estão presentes naturalmente ou são adicionados aos alimentos e na forma de sais, glutamato monossódico (MSG), inosinato e guanilato dissódico (IMP e GMP, respectivamente); estes acentuam seu sabor e intervêm de maneira muito importante em sua palatabilidade.

Esta percepção diferente, existente na presença dos compostos citados, foi descrita pelo Dr. Ikeda, em 1908, o qual a denominou umami, um termo japonês cuja tradução mais próxima quer dizer “saboroso”. Por essa razão umami é a palavra utilizada internacionalmente para se referir ao gosto dos compostos MSG, IMP ou GMP.

Por sua origem, tal termo é único e se associa a um sabor oriental que é muito familiar para os integrantes de tal cultura. O Dr. Ikeda o qualificou como uma percepção difícil de descrever com uma palavra.

Tanto os pesquisadores do mundo oriental como os do ocidental investigaram intensamente o umami e, no início do ano 2000, foi determinada a presença do primeiro receptor específico para o MSG e substâncias similares, localizado nos botões gustativos, o que consistiu em uma prova definitiva de que o umami é o quinto gosto básico, sendo os outros quatro os tradicionalmente conhecidos como salgado, ácido, doce e amargo. Tal descoberta revolucionou o mundo científico e também a indústria de alimentos, bem como a gastronomia e a enologia. Essa palavra de origem japonesa já é conhecida e utilizada pela comunidade

científica de todos os países. Entretanto, continuam as investigações para encontrar respostas para explicar outros aspectos relativos ao umami.

## 2. ASPECTOS SENSORIAIS DO UMAMI

Ao comentar os aspectos sensoriais relativos ao umami é necessário falar do sentido do gosto e seus receptores, dos limiares de percepção das substâncias que o estimulam e de como este pode mudar em presença de outros constituintes dos alimentos como o sal, as proteínas e os lipídios (Maga, 1987). Também é interessante comentar o efeito sinérgico observado em numerosos estudos que indicam a efetividade da adição de MSG, conjuntamente ao IMP e o GMP.

O umami, como conceito, é relativamente novo no mundo ocidental. Porém, essa propriedade, proveniente de alimentos, existe desde os tempos antigos e pode ser encontrada em caldos-base da cozinha europeia ou de molhos, nas apreciadas pizzas italianas, sopas japonesas ou sopas de ostras, entre inúmeros exemplos.

Os ocidentais descrevem essa sensação como saborosa, plena de sensações bucais ou simplesmente como um realçador de sabores.

O glutamato foi a primeira substância isolada da alga marinha *kombu* (*Laminaria japonica*), responsável pelo umami, o qual logo se produziu comercialmente como um tempero de comidas para torná-las mais apetitosas e saborosas, e que além de tudo torna a sensação bucal do alimento mais harmônica e completa.

Em 1913, o Dr. Kodama (Kodama, 1913) determinou que no peixe bonito também haviam outras substâncias responsáveis pelo umami; elas eram a inosina-5'-monofosfato (IMP) e depois determinou essa propriedade para outra substância, a guanosina-5'-monofosfato (GMP). Além disso, quando o MSG e os 5'-ribonucleotídeos se combinam são obtidos efeitos potencializados do gosto umami.

O fato de que uma substância ou uma mistura de substâncias ao ser adicionada a um alimento altera suas características sensoriais, por uma modificação na percepção dos sentidos, tem sido o alvo de muitas pesquisas científicas. Nesse sentido, a qualidade de uma percepção sensorial e sua duração ao longo do tempo têm sido estudadas. Assim, Yamaguchi & Kobori (1993) demonstraram que a percepção do gosto umami, na presença de MSG e IMP, é prolongada por mais tempo depois de se engolir o alimento que os contém, mesmo quando tais substâncias estão presentes em concentrações muito baixas.

O gosto residual pode ser parte do prazer de ingerir algum alimento, e as evidências provam que o umami é um gerador de gosto residual, não havendo

dúvida de que tanto o MSG como os 5'-ribonucleotídeos participam em proporcionar o prazer completo de uma refeição saborosa (Maga, 1987).

A sensibilidade das substâncias químicas que estimulam os receptores do gosto é determinada por fatores genéticos e pela exposição de indivíduos às substâncias existentes em sua dieta diária. Por essa razão é relevante a participação dos pais na introdução de grande variedade de alimentos e experiências alimentares ricas e saudáveis para possibilitar a exposição e conseqüentemente construir a aceitação ao consumo de dietas saudáveis (Schwartz, 2018).

Kobayashi & Kennedy (2002) divulgaram que os japoneses deveriam ser capazes de detectar a presença de MSG mais facilmente que um grupo de americanos e/ou europeus expostos ao MSG bem como outro grupo de indivíduos não expostos ao estímulo. Tal informação parece ser consistente uma vez que existe um mecanismo associado à habilidade para identificar o gosto umami como resultado da exposição desse composto na dieta, incluindo períodos curtos de exposição e a baixas concentrações de MSG. Ele explica que os indivíduos orientais são capazes de detectar umami a concentrações muito baixas. Entretanto, o mecanismo para explicar esse fato não está completamente claro. Portanto, é possível indicar que são necessários estudos com maior aprofundamento em áreas integradas como fisiologia, biologia molecular e ciência sensorial para que sejam elucidados esses mecanismos e que sejam obtidas essas respostas.

Há diferenças de sensibilidade entre indivíduos ante o MSG e os 5'-ribonucleotídeos. Lugaz *et al.* (2002) determinaram uma ageusia, ou seja, uma ausência de percepção ao L-glutamato em um grupo de indivíduos. Por razões genéticas, indivíduos podem perceber ou não o gosto. Uma sensação duradoura depois do consumo dos alimentos que contém glutamato também foi observada, corroborando estudos prévios (Maga, 1987).

Em 1985, no Primeiro Simpósio Sobre Umami (Ninomiya, 2002), foi relatado que, para que um gosto seja considerado básico, deve cumprir com certas características. Este deve ser claramente diferenciado de outros que já se conhecem, a qualidade desse gosto deve ser universal em todos os alimentos e deve ser verificável pela neurofisiologia como um gosto diferente dos existentes. Foi provado que o umami cumpre com essas premissas, pelo que se considera um gosto básico independente; foram estudados o comportamento e a eletrofisiologia em animais de experimentação e, para o glutamato, já se sabe que há um receptor proteico nos botões gustativos, o que indica haver um mecanismo de percepção em separado (Chaudhari *et al.*, 1996; Chaudhari *et al.*, 2000; Lindeman, 2001).

### 3. DIFERENÇAS ENTRE GOSTO E SABOR

Antes que o umami fosse reconhecido como um gosto básico, foram utilizados muitos termos para descrever a percepção, quando se dizia que o glutamato aumentava a amplitude ou que a sensação bucal era mais harmônica e que era um potencializador. Todos os termos usados eram uma expressão relacionada com o sabor, porém, não como um gosto básico.

Outros pesquisadores opinaram que o umami era a combinação de outros gostos básicos, porém, posteriormente, foi demonstrado que ele estava fora do tetraedro formado pelo gosto doce, amargo, ácido e salgado (Yamaguchi, 1987). Até então, não se havia demonstrado a existência de um mecanismo à parte na recepção do estímulo em estruturas celulares presentes nos botões gustativos e o umami não havia sido qualificado como um gosto nem como sabor (Yamaguchi & Ninomiya, 2000). Entretanto, em muitos textos e literaturas encontram-se indistintamente citações do umami como o quinto sabor básico ou como quinto gosto básico. O correto é o segundo. Para entender melhor essa afirmação, é necessário recordar aspectos básicos de anatomia e fisiologia dos sentidos químicos, os quais são descritos a seguir.

### 4. PERCEPÇÃO DO SABOR

O sabor influencia aproximadamente 75% do fator hedônico de um alimento. Em sendo o sabor resultante da percepção simultânea do gosto, aroma e estímulos táteis, é possível afirmar que a língua é uma estrutura fundamental na percepção sensorial dos alimentos, uma vez que nela encontram-se os receptores dos gostos (quimiorreceptores) e de estímulos táteis (químico e mecanorreceptores) além de fazer parte da estrutura que serve de passagem para os compostos voláteis dos alimentos chegarem aos receptores olfatórios em via retro nasal.

A língua está situada entre as arcadas gengivo-dentárias, sob a região do palatino, sobre o piso bucal da região infra-hioidea e se insere no osso hioide, na mandíbula, no palato e na apófise estiloides. Mediante numerosos músculos, há uma grande mobilidade, que a permite interferir na mastigação, na deglutição e na fonação (Rouviere, 1999; Netter, 2014).

A língua é irregularmente ovalada, com simetria bilateral, alta em sua extremidade posterior, plana na sua face superior e inferior. Sua face dorsal, suas laterais, seu vértice e sua parte anterior da face inferior estão revestidos por um epitélio estratificado que contém projeções denominadas papilas gustativas.

Existem quatro tipos de papilas gustativas: filiformes, fungiformes, circunvaladas e folhadas (Netter, 2014).

As papilas filiformes estão situadas em todas as regiões da parte superior da língua. Esse tipo de papila é o único que não apresenta botões gustativos, tendo função mecânica para movimentação do alimento durante o consumo.

As papilas fungiformes são estruturas arredondadas e estão presentes na ponta e região média da língua e apresentam desde nenhum até cinco botões gustativos.

As papilas folhadas estão presentes nas laterais da língua, e aparentam o formato de sulcos posicionados verticalmente como dobras em folhas.

As papilas circunvaladas (ou valadas) se localizam na zona posterior da língua e são estruturas proeminentemente dispostas em forma de “V”. As papilas contêm os botões gustativos, estruturas encarregadas da percepção do gosto, os quais estão inervados por cerca de 50 fibras nervosas (Guyton & Hall, 2014).

O número de botões gustativos por papila é variável. Nas fungiformes podem existir até 5 botões, localizados na parte superior da mesma. As circunvaladas, que são maiores, podem conter até 100 botões gustativos. As pequenas papilas filiformes cônicas que cobrem o dorso da língua, não contêm botões gustativos. Estima-se um total aproximado de 10.000 botões gustativos (Rouviere, 1999; Marieb & Hoehn, 2009).

Cada botão gustativo é formado por até 4 tipos de células: células basais, células tipo 1 e 2, que são de sustentação, e células tipo 3, que são as células receptoras gustativas que estabelecem as conexões sinápticas com as fibras nervosas sensoriais. As células tipo 3 têm microvilosidades que se projetam no poro gustativo, que é uma abertura que as coloca diretamente em contato com a saliva e, portanto, com os elementos químicos dos alimentos. As bordas das células sustentaculares e das células gustativas estão conectadas entre si e com as células epiteliais circundantes mediante uniões fechadas. Isso resulta que a única parte das células receptoras gustativas que se expõem aos líquidos da cavidade bucal são suas microvilosidades.

As células receptoras do gosto, denominadas TRCs (sigla em inglês para *Taste receptor cells*), se encarregam de detectar substâncias químicas dos alimentos e enviam essas informações sensoriais ao cérebro através da ativação de sinapses específicas nas fibras nervosas do gosto (Bigiani, 2005). Porém, para que se produza essa sensação gustativa, é necessário que tais substâncias se dissolvam na saliva e entrem em contato com as microvilosidades das células

gustativas pertencentes aos botões gustativos. As sensações de gosto se agrupam em cinco categorias gerais, denominadas sensações primárias do gosto. Estas são: salgado, ácido, doce, amargo e umami. Os cinco gostos são sentidos em toda a língua. Também há sensibilidade para os 5 gostos básicos na faringe, palato e epiglote, pela presença de TRCs nessas áreas (Bigiani, 2005).

É amplamente aceito que a composição da saliva pode influenciar nas sensações do gosto. Os constituintes orgânicos e inorgânicos da saliva interagem de uma maneira pouco compreendida com os cinco gostos básicos. Foi determinado que a concentração de sódio, na saliva, altera a resposta a uma solução salina e também pode alterar a resposta de prazer produzida pela presença de MSG (Scinska-Bienkowska *et al.*, 2006).

Em síntese: gosto é a resposta de percepção sensorial que é originada pela presença de substâncias químicas dissolvidas na saliva, as quais, em contato com os receptores químicos ou canais iônicos, específicos de cada um dos cinco gostos (localizados nas células gustativas que formam os botões gustativos) presente na língua, provocando liberação do mediador químico (acetilcolina) na fenda sináptica, despolarizando a membrana do neurônio e levando o sinal eletroquímico até a área cerebral da decodificação do gosto, transformando-o na sensação gustativa.

Já o sabor, é a resposta complexa provocada pela percepção resultante da associação de três sensações simultâneas: 1) gosto resultante do estímulo dos receptores gustativos a partir de compostos químicos presentes nos alimentos, dissolvidos na saliva; 2) olfato resultante do estímulo das células olfativas pelos compostos voláteis presentes nos alimentos, via retronasal; e 3) sensações táteis de origem química (quimестese) que estimulam diretamente receptores de dor, tato e receptores térmicos da pele ou das mucosas – no caso, oral, nasal e ocular. Exemplificando: o gelado provocado pelo mentol ou o ardor da capsaicina e/ou de natureza mecânica (somestese) que estimulam receptores sensoriais durante a movimentação dos músculos da língua e face em função da posição e movimento originados em razão da textura do alimento, como a viscosidade e maciez (ASTM, 2018).

Muitos alimentos contêm compostos fenólicos que causam a percepção de adstringência podem estar presentes em preparações com MSG. Por essa razão, é importante mencionar que a adstringência pode ser considerada resultante tanto de quimестese como somestese. A quimестese, em razão do fenômeno da complexação e precipitação dos compostos fenólicos em contato com as proteínas ricas em prolina presentes na saliva (Jiang *et al.*, 2014), e a somestese, em

razão da estimulação dos receptores táteis, pelos precipitados formados, bem como pela aspereza resultante da redução da água da saliva.

Os sinais nervosos originados tanto em quimestese como em somestese são transmitidos ao cérebro através do quinto par de nervos cranianos, denominado trigêmeo (Engelen & van der Bilt, 2008), enquanto as sensações de gosto são transmitidas pelos nervos corda do tímpano e glossofaríngeo, que são o sétimo e nono par de nervos cranianos, respectivamente.

## 5. RECEPTORES DO GOSTO UMAMI

Em estudos recentes, mediante a aplicação de técnicas de clonagem molecular, foi possível identificar os receptores para o glutamato. Eles incluem dois tipos pertencentes à família dos receptores acoplados à proteína G, denominados GPCRs (sigla em inglês para *G protein-coupled receptors*), “gosto-mGluR4” e os “heterômeros T1R1/T1R3” (Bigiani, 2005; Temussi, 2009).

Os receptores de glutamato foram classificados principalmente em dois grupos: receptores ionotrópicos e metabotrópicos. Nos primeiros, a união do glutamato e seu receptor resulta numa mudança conformacional que permite a passagem de cátions de cálcio e sódio através de um poro. Os receptores metabotrópicos, por outro lado, não são permeáveis a íons e estão acoplados a segundos mensageiros intracelulares por meio da proteína G. A seguir, se apresenta uma breve descrição dos receptores para os quais foi demonstrado que intervêm na percepção do umami.

### 5.1. Receptores gustativos-mGluR4

Antes da aplicação dos métodos moleculares, estudos eletrofisiológicos e de condução sugeriram que os receptores para o glutamato poderiam estar relacionados de alguma forma aos receptores de glutamato presentes no cérebro. As investigações em tecidos da língua de ratos conduziram a determinar a presença de receptores de glutamato denominados mGluR4 e que respondem à presença de MSG e dos 5'-ribonucleotídeos. Sua descoberta representou a prova para o mundo ocidental de que existe o gosto básico umami (Chaudhari *et al.*, 1996; Chaudhari *et al.*, 2000; Lindeman, 2001).

Além disso, foi determinado que vários receptores de glutamato ionotrópicos, como os iGluRs (receptores sinápticos do umami localizados na membrana das células receptoras gustativas) e os metabotrópicos (GPCRs), se encontravam presentes nos tecidos da língua em ratos. Os receptores metabotrópicos

são receptores acoplados à proteína G, cuja função é modular a produção de mensageiros secundários intracelulares, ou seja, que promovem a mediação em efeitos lentos do glutamato.

Diferente dos receptores ionotrópicos, a união de glutamato aos receptores metabotrópicos não ativa a abertura de um canal intrínseco e, sim, regula a transmissão sináptica e a excitabilidade neuronal através da ativação ou inibição de vários sistemas efetores acoplados à proteína G.

Estudos revelam que existem, ao menos, oito subtipos de receptores metabotrópicos de glutamato e estes, por sua vez, foram classificados em três grupos distintos, baseados em sua homologia de sequência, farmacologia e acoplamento a mecanismos de sinalização intracelular. Em sendo assim, é possível constatar que o primeiro grupo é composto pelo subtipo mGluR1 e mGluR5, o qual ativa uma fosfolipase C; enquanto que os membros do segundo (mGluR2 e mGluR3) e do terceiro grupo (mGluR4, mGluR7 e mGluR8) estão acoplados negativamente à adenilciclase (GMPC), o receptor mGluR6 está acoplado à ativação da GMPC fosfodiesterase.

Os receptores mGluR1 estão localizados, principalmente, na região pós-sináptica e nos limites das densidades pós-sinápticas, desde onde se regulam a atividade dos receptores de NMDA (N-metil-D-aspartato) e AMPA (ácido-alfa-amino-3-hidroxi-5-metil-isoxosol-4-propiónico) e a excitabilidade do neurônio pós-sináptico. Os mGluR2 e mGluR3 estão localizados pré e pós-sinápticamente. Já os mGluR3 são encontrados também nas células gliais. O terceiro grupo é encontrado nas células ON bipolares, funcionando como autorreceptores pré-sinápticos.

Entretanto, foi demonstrado que só um receptor metabotrópico de glutamato, mGluR4, se expressa mediante as células receptoras nas papilas foliadas e circunvaladas. É importante destacar que no cérebro, o mGluR4 tem sensibilidade para o L-glutamato que é mais compatível com um receptor neurotransmissor, como um receptor de umami.

Através da clonagem do mGluR4 de tecidos do palato, foi possível conhecer a diferença substancial que existe entre o receptor mGluR4 localizado no cérebro e os mGluR4 localizados nas papilas, os quais são denominados mGluR4 gustativos para diferenciá-lo (Bigiani, 2005). Conforme mencionado anteriormente, conforme pesquisas iniciais realizadas em ratos, o receptor gustativo mGluR4 é encontrado nas terminações apicais das TRCs, nas papilas foliadas e circunvaladas. Observações imunocitoquímicas confirmaram que, nos botões gustativos de ratos, o mGluR4 gustativo é localizado exclusivamente no poro gustativo, ou

seja, onde se encontra a membrana de TRCs, o que dá suporte à hipótese de que o mGluR4 gustativo atua como um receptor de umami.

Os receptores metabotrópicos do glutamato (mGluR) tipo I e II também originam sensação em humanos (Bigiani, 2005).

## 5.2. Receptores T1R1/T1R3

Estudos moleculares mais recentes evidenciam a presença de outro tipo de receptores, envoltos na detecção do umami. São receptores de aminoácidos pertencentes à família dos T1R's dos G, que constituem um pequeno grupo dos GPCRs (*G protein-coupled receptors*) (Zhao *et al.*, 2003).

Os TR1s definem duas populações de células do gosto na língua e palato, formadas pelos subgrupos T1R1, T1R2 e T1R3 que se combinam para gerar os heterômeros denominados T1R1/T1R3 e T1R2/T1R3 (também chamados T1R1+3 e T1R2+3), os quais constituem os receptores dos gostos umami e doce, respectivamente.

Os receptores T1R1/T1R3 interagem com os componentes químicos presentes nos alimentos e iniciam transmissões em cascata, culminando em uma liberação de neurotransmissores em que fibras de nervos aferentes do nervo gânglio cranial posteriormente liberam esse sinal através do tálamo aos centros do gosto corticais nos quais são realizados o processamento e integração da informação. Somente a combinação de T1R1 com T1R3, e não as unidades separadamente, funciona como um L-amino receptor (Adler *et al.*, 2000).

Em estudos realizados por Raliou *et al.* (2009), foram observadas as subunidades T1R1 e T1R3, com a função de controlar a maioria das respostas fisiológicas e de comportamento ao L-glutamato. À diferença do mGluR1, os T1R1/T1R3 são consistentemente detectados nas papilas gustativas fungiformes e suas proteínas correspondentes encontram-se localizadas nos botões gustativos (Figuras 14.1 e 14.2).

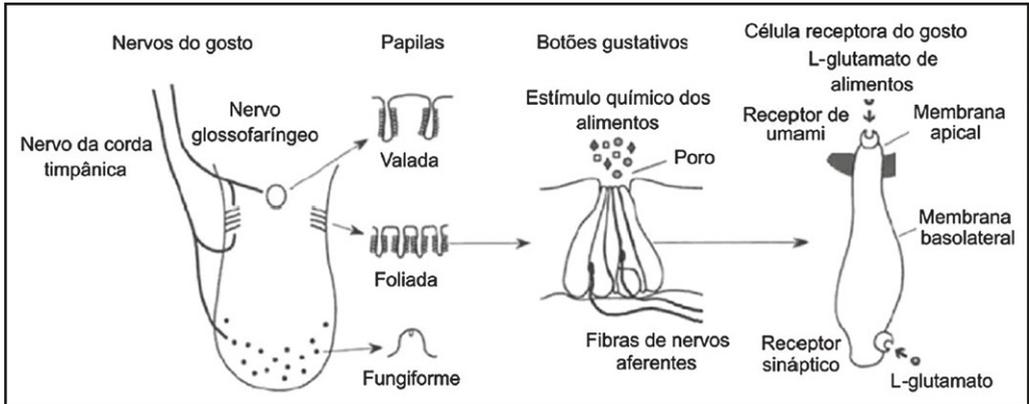


Figura 14.1 – Localização e estimulação dos receptores do L-glutamato T1R1/T1R3.

Fonte: Bigiani, 2005.

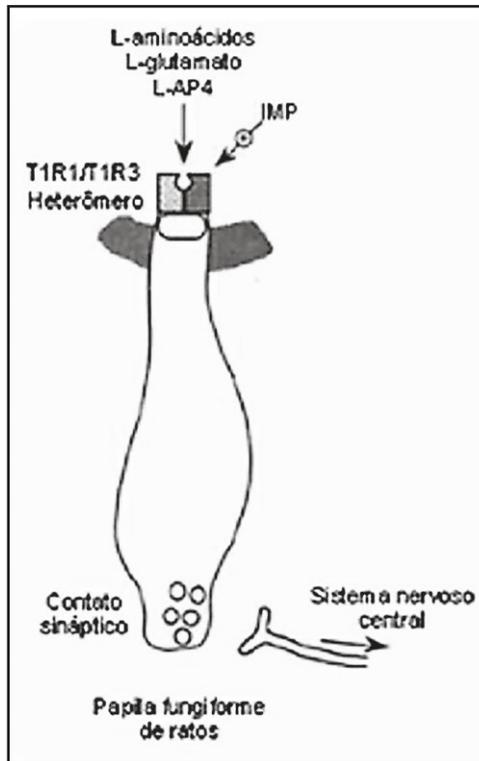


Figura 14.2 – Localização dos heterólogos.

Fonte: Bigiani, 2005.

As subunidades (T1R1 e T1R3) são ativadas seletivamente pelo glutamato e esses estímulos são potencializados, porém, não diretamente ativados pelos 5'-ribonucleotídeos (Raliou *et al.*, 2009). Segundo Zucker (1999), os aminoácidos são as unidades mais óbvias para a fabricação das proteínas, compostos de grande valor metabólico nos seres humanos e, além de precursores biossintéticos de uma grande quantidade de moléculas de grande importância na bioquímica do organismo, também são combustíveis metabólicos para nosso organismo. Por esses motivos, existem receptores para aminoácidos, os quais respondem a substâncias químicas que tornam o alimento mais saboroso e, portanto, de maior aceitação, por prováveis razões evolutivas dos seres humanos.

## 6. RESPOSTA DO SENTIDO DO GOSTO

O gosto salgado responde à presença de íons sódio e de outros sais ionizados. No entanto, somente o cloreto de sódio é unicamente salgado (Smith & Margolskee, 2006). Existem canais iônicos seletivos em relação ao tamanho e carga que permitem a entrada específica do íon sódio, liberado na dissociação do cloreto de sódio.

O gosto ácido é desencadeado pela presença de íons hidrogênio liberados por dissociação de ácidos orgânicos e inorgânicos. Da mesma forma que no desencadeamento da percepção do gosto salgado, para o gosto ácido, existem canais iônicos seletivos que permitem a entrada específica do íon hidrogênio.

O gosto doce é originado por diversas substâncias orgânicas como glicose e outros açúcares, álcoois, aldeídos, cetonas, amidas, ésteres, aminoácidos, algumas proteínas pequenas, ácidos sulfônicos, ácidos halogenados e sais inorgânicos de chumbo e berílio. A maior parte dessas substâncias é composto orgânico. No entanto, é de grande importância citar que compostos de diferentes classes químicas desencadeiam a percepção de intenso gosto doce, como aspartame, sucralose, estévia (especialmente rebaudiosídeo A), ciclamato, sacarina, neotame e outros.

A estimulação do gosto amargo é feita pelos compostos nitrogenados e compostos alcaloides, geralmente associados a substâncias tóxicas, plantas venenosas e fármacos. Quando um alimento é muito amargo pode provocar aversão e também vômito como mecanismo de defesa do organismo.

O gosto umami é produzido pela presença de glutamato e dos 5'-ribonucleotídeos. Um fato interessante observado é que alguns aminoácidos são doces e agradáveis, outros são amargos e desagradáveis e alguns provocam uma resposta

ao umami no ser humano, o que indica que os diversos aminoácidos podem interagir com diversos receptores do sentido do gosto (Zucker, 1999).

Uma vez que a substância química se dissolve na saliva e entra em contato com as células receptoras presentes nas papilas gustativas, ocorre uma série de eventos bioquímicos os quais são sinais eletroquímicos enviados ao cérebro, que são específicos para cada um dos gostos. Uma vez que o sinal chega ao cérebro, este o julga e interpreta usando a informação que armazenou, incluindo memória de sensações anteriores e se desencadeia uma reação ante o estímulo recebido. A frequência com que se repetem os impulsos indica a intensidade do gosto (Roper, 1989).

## 6.1. Vias cerebrais

Os impulsos provenientes dos dois terços anteriores da língua (gerados nas papilas fungiformes) são transmitidos por estimulação do quinto par de nervos cranianos, denominado corda do tímpano (*chorda tympani*). Já as papilas circunvaladas e foliadas transmitem sinais através do nono par de nervos cranianos, denominado glossofaríngeo (Bartoshuk *et al.*, 1998; Roper, 2013; Yarmolinsky *et al.*, 2009).

Alguns sinais gustativos são transmitidos ao trato solitário desde a base da língua e outras partes da região faríngea, por intermédio do nervo vago. Todas as células gustativas fazem sinapse nos núcleos do trato solitário e enviam a informação a neurônios, de acordo com a ordem, em uma área pequena do núcleo ventroposteriomédial do tálamo, de onde partem para neurônios de terceira ordem até o extremo inferior da circunvolução pós-central no córtex cerebral, onde se curvam profundamente na *sulcus lateralis* (também chamada de fissura de Sylvius e fissura lateral) e também na área operculoinsular adjacente (Roper, 1989).

Existem fatores que afetam a sensibilidade dos receptores gustativos ao serem estimulados. Alguns são inerentes ao alimento e outros ao indivíduo que o consome. A temperatura dos alimentos não deve ser muito diferente da do corpo humano, de modo que, se está muito baixa, é mais difícil haver a apreciação do gosto e se, por outro lado, está muito alta, os receptores se irritam e, conseqüentemente, sua sensibilidade também diminui.

Às vezes, os gostos de um mesmo alimento podem ser modificados, potencializados ou suprimidos, bem como a sensibilidade dos receptores gustativos para detectar os gostos individuais em função da temperatura do alimento. Desta

forma, por exemplo, o açúcar pode mascarar a percepção do amargor do café ou a acidez de uma limonada.

As papilas gustativas têm a capacidade de adaptação a uma substância, uma vez que esta permaneça certo tempo na boca, pelo que se perde a sensibilidade a outras substâncias, alterando as concentrações que se detectam. Existe uma sensibilidade inata em muitas pessoas para detectar os gostos básicos, mas nem todas as pessoas possuem a capacidade de percebê-los nos alimentos. Diversas patologias podem afetar a capacidade dos indivíduos de detectar algum dos gostos básicos, como a denominada ageusia. Foram reportados casos de ageusia para o MSG (Lugaz *et al.*, 2002).

## **7. O UMAMI, NOSSO PRIMEIRO GOSTO**

No leite materno há 20 aminoácidos livres e o ácido glutâmico é mais abundante, restando aproximadamente 50% do total do conteúdo de aminoácidos. Steiner (1987) conduziu uma série de experimentos nos quais a expressão facial dos recém-nascidos, como resposta à estimulação de diferentes gostos, foi estudada. Os bebês receberam água e as expressões faciais permaneceram inalteradas, enquanto que, com solução ácida, franziram a testa e enrugaram o nariz; com a solução amarga agitaram a cabeça, fecharam os olhos e mostraram a língua. Com soluções doces sugaram mais rápido, com movimentos de sua língua que são expressões de agrado. Quando foi administrado caldo de vegetais sem tempero, a expressão facial foi similar à da solução ácida. Com o caldo temperado com glutamato, a expressão facial foi parecida com a da solução doce. Apenas uma solução de glutamato não foi prazerosa para os bebês, mas quando foi adicionada ao caldo, ficou mais agradável. Concluiu-se que é possível que a presença de glutamato no leite materno contribua para sua aceitação pelos recém-nascidos (Beauchamp & Pearson, 1991).

## **8. O UMAMI COMO POTENCIALIZADOR DO SABOR E PALATABILIDADE**

Ao contrário do que se sucede com o gosto, a percepção de sabor de um alimento é mais complexa, já que se integra toda a informação sensitiva recebida na boca. Os compostos voláteis presentes no alimento são responsáveis por seu aroma e percebidos com o olfato; as substâncias químicas estimulam os botões gustativos e, além da textura e temperatura do alimento, estimulam receptores do trato presente na cavidade bucal. Depois, vem a detecção e identificação do estímulo e ocorre uma interpretação da informação total recebida conhecida como

palatabilidade, a qual é de sumo interesse já que determina a eleição ou a preferência por algum alimento, a quantidade que se consome e também sua digestão. Os cinco sentidos estão envolvidos na percepção da palatabilidade, porém, o gosto é que tem o papel mais importante. Substâncias como o glutamato e os 5'-ribonucleotídeos são de suma importância para a palatabilidade e aceitabilidade dos alimentos (Yamaguchi & Ninomiya, 2000). O prazer da cozinha oriental está associado ao uso de caldos preparados com a alga *kombu* (*Laminaria japonica*) ou com o peixe bonito, ambos ricos em substâncias que modernamente são denominadas realçadores ou potencializadores do sabor, como são os MSG, o IMP e GMP. A presença do *kombu* e do peixe bonito na preparação dos pratos da cozinha oriental os torna mais apetecíveis.

## 9. RESPOSTA HEDÔNICA AO UMAMI

A resposta hedônica aos alimentos se refere ao grau de aceitabilidade ou de prazer que nos proporciona sua ingestão. A resposta hedônica do umami, comparada com a dos outros gostos básicos, tem sido estudada (Yamaguchi & Takahashi, 1984a).

Utilizou-se sacarose, cloreto de sódio (NaCl), ácido tartárico, cafeína e MSG, substâncias químicas que representam os cinco gostos. As respostas de cada gosto básico ou em combinações de forma binária foram examinadas individualmente. Foram utilizadas, em primeiro lugar, soluções aquosas simples, depois soluções com sabor e, por último, em alimentos, com vários níveis de concentração. Foi registrada a resposta hedônica de 20 e 40 indivíduos, segundo o experimento, usando uma escala de 9 pontos, onde o máximo valor significava extremamente agradável e 0 para extremamente desagradável. A pontuação padrão de agrado foi estabelecida em zero. Quando foram avaliadas as soluções dos gostos básicos, somente a sacarose (doçura) mostrou uma pontuação excepcional de agrado. O MSG e outras substâncias básicas do gosto foram considerados como neutros ou desagradáveis. Nas soluções binárias de 2 gostos, a combinação de MSG e ácido tartárico, e a de MSG e NaCl deram pontuações positivas de agrado, porém somente quando as concentrações foram baixas. Os resultados para as soluções com sabor e para os alimentos foram muito diferentes. Foi verificado que a presença de MSG aumentou a pontuação hedônica tanto das soluções com sabor quanto dos alimentos.

Outro exemplo que ilustra a influência da resposta hedônica pela presença do umami se observou com arroz cozido, o qual se caracteriza por ser insípido. Quando o arroz foi cozinhado com MSG adicionado, não houve mudança

na pontuação usada para expressar o agrado dos degustadores, nem quando foi adicionado 0,7% de NaCl. Entretanto, quando se adicionou MSG, NaCl e, posteriormente, o arroz foi cozinhado, a pontuação aumentou significativamente. A mesma resposta foi observada quando, além de NaCl, foi adicionada uma pequena quantidade de molho de soja, depois de cozinhado.

Os resultados desses estudos indicam que não se pode prever pela resposta hedônica o efeito das substâncias que modificam o gosto em um sistema modelo de soluções aquosas simples, mas que se deve estudá-las em soluções com sabor ou, melhor ainda, nos alimentos como tais (Yamaguchi & Takahashi, 1984a; Yamaguchi, 1987).

## 10. UMAMI E OUTROS GOSTOS BÁSICOS

Foi investigada a influência que pode ter a presença de umami nos alimentos, na percepção dos outros quatro gostos básicos (Kawamura & Kare, 1987). Ao detectar os limiares em substâncias para os cinco gostos básicos em soluções aquosas simples contendo 5 mM MSG (0,094%) ou IMP (0,26%) (Tabela 14.1), se observa que a presença de MSG e IMP não diminuiu os limiares da sacarose e do NaCl, ainda que o IMP aumentasse a do sulfato de quinina, enquanto que o MSG e o IMP incrementaram a do ácido tartárico. Ressalte-se que o IMP diminuiu, notavelmente, o limiar do MSG em mais de 50 vezes.

De maneira contrária, quando a detecção de limiares do MSG foi feita nas soluções que continham os quatro gostos básicos (Tabela 14.2), o limiar do MSG não foi afetado. Tais resultados sugerem que o umami não afeta a percepção dos outros gostos básicos e que o efeito sinérgico somente se observa entre os dois tipos de substâncias umami.

Tabela 14.1 – Limiares de detecção de substâncias características dos cinco gostos básicos na presença de MSG e IMP (g/100 mL)

Solvente	Sacarose	NaCl	Ácido tartárico	Sulfato de Quinina	MSG
Água	0,086	0,0037	0,00094	0,000049	0,012
MSG sol. (5mmol/L)	0,086	0,0037	0,00190	0,000049	-
IMP sol. (5mmol/L)	0,086	0,0037	0,03	0,0002	0,00019

MSG: glutamato monossódico; IMP: inosina-5'-monofosfato. Fonte: Yamaguchi & Ninomiya, 2000.

Tabela 14.2 – Detecção de limiares de MSG em soluções de gostos básicos

Solução	Concentração (g/dL)	Intensidade (I) <sup>a</sup>	Limiar de MSG (g/dL)
Água		0	0,012
Sacarose	8,83	50	0,023
	22,27	70	0,094
NaCl	0,88	50	0,012
	2,16	70	0,012
Ácido tartárico	0,030	50	0,012
	0,085	70	0,012
Sacarose	8,83	50	0,023
NaCl	0,88	50	0,023
Ácido tartárico	0,030	50	0,023

<sup>a</sup> Em termos da escala de intensidade do gosto, empregando painelistas treinados; MSG: glutamato monossódico. Fonte: Yamaguchi, 1987.

Em muitos alimentos, as substâncias do umami são adicionadas como sal. Se forem considerados os riscos à saúde pelo consumo excessivo de sódio, é particularmente importante definir a concentração de sal a usar, sem reduzir a palatabilidade dos alimentos. Yamaguchi & Takahashi (1984b) examinaram a relação funcional entre MSG e o NaCl em sopas e seu efeito na salubridade e palatabilidade, pelo método de superfície de resposta, utilizando 9 sopas com diferentes níveis de MSG e NaCl, avaliadas com um painel e uma escala de 7 pontos para mediar a intensidade de salubridade e palatabilidade da sopa clarificada, a qual foi descrita pelo seguinte modelo matemático:

$$Y = M - \alpha(X_1 - A)^2 - \beta(X_2 - B)^2 - \gamma(X_1 - A)(X_2 - B) \quad (1)$$

Nesse modelo, Y significa a pontuação de palatabilidade, M é a máxima pontuação da palatabilidade, A é o nível ótimo de MSG, B é o nível ótimo de NaCl, e  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  são constantes positivas;  $X_1$  é a concentração de MSG adicionado e  $X_2$  é a concentração de NaCl adicionado. A pontuação da palatabilidade é expressa como um ponto na superfície de uma parábola elíptica, típica desse modelo matemático. O estudo demonstrou que, quando a quantidade total de sódio foi reduzida em 30% do ótimo, sem mudanças no nível de MSG, a pontuação de palatabilidade diminuiu em 0,17 a -0,19. Uma redução de NaCl a mais de 30% diminuiu a pontuação de palatabilidade (Tabela 14.3).

Tabela 14.3 – Efeito da concentração de Na<sup>+</sup> [proveniente do MSG e do NaCl (g/100 g)] na palatabilidade de uma sopa

Total de Na <sup>+</sup> agregado	MSG	NaCl	Pontuação de palatabilidade
0,363% (Ótimo)	0,379	0,806	0,17
0,327% (10% < Ótimo)	0,378	0,714	0,13
0,290% (20% < Ótimo)	0,377	0,620	0,01
0,254% (30% < Ótimo)	0,377	0,529	-0,19
0,218% (40% < Ótimo)	0,376	0,438	-0,47
0,362% (Sem MSG)	0	0,922	-0,56

Fonte: tabela modificada de Yamaguchi, 1987.

Para confirmar essas conclusões, foi elaborado outro experimento, porém com dois tipos de cardápio típico japonês. Utilizaram-se 150 degustadores. Também nesse caso, observou-se que a redução de cerca de 30% (ou >30%) na adição de sal, sem a adição das substâncias umami, definitivamente diminuíram todas as pontuações de salubridade, umami e palatabilidade. Essa queda foi claramente neutralizada pela adição de substâncias umami. A sensação de satisfação pelas comidas oferecidas foi incrementada com a adição de substâncias umami a todos os níveis de NaCl estudados.

Dos fatos descritos anteriormente, pode-se concluir que, se é usada uma quantidade apropriada de substâncias umami, o consumo de sódio pode ser reduzido em 30% sem diminuir a palatabilidade do alimento ou minimizar o nível de satisfação das comidas. Finalmente, se deve enfatizar que somente 0,5% ou 0,6% das substâncias umami incrementam substancialmente a sensação de satisfação da comida (Yamaguchi, 1987).

## 11. SINERGISMO ENTRE SUBSTÂNCIAS UMAMI

Quando o ácido glutâmico e os nucleotídeos (na forma livre ou de sais) coexistem, o umami se incrementa drasticamente. Esse fenômeno, melhor conhecido como o efeito sinérgico do umami, foi amplamente investigado (Kuninaka, 1960; Yamaguchi, 1967; Yamaguchi *et al.*, 1971). O efeito sinérgico em uma série de soluções aquosas simples e em alimentos foi estudado; os limiares informados de MSG e IMP para os degustadores foram de 0,03% e 0,025%, respectivamente. Porém, quando se determinou a presença do umami nos alimentos que o contém, os limiares de percepção de MSG e IMP, ou ambos, foram definitivamente inferiores. Especialmente naqueles alimentos com altas

concentrações relativas de ácido glutâmico, tais como os produtos marinhos ou tomates, o limiar de IMP foi marcadamente inferior. Por outro lado, naquelas amostras que continham uma alta concentração de 5'-ribonucleotídeos, tais como a de vitelo e de bonito desidratado, o limiar de glutamato foi claramente inferior, não para o IMP. Muitos dos alimentos que contém glutamato e 5'-ribonucleotídeos, ainda que em pequenas quantidades, são usados comumente na cozinha para incrementar a palatabilidade dos alimentos, havendo um efeito sinérgico das substâncias umami contidas nas matrizes alimentares (Yamaguchi, 1987). É importante enfatizar que são muitos os alimentos que contêm de forma natural substâncias umami, em quantidades supra e sublimiar e essas quantidades são suficientes para afetar a percepção de maneira agradável (Maga, 1983; Maga, 1987). Gutiérrez & Sangronis (2006) notaram mudanças na intensidade da palatabilidade e da reposta hedônica em uma sopa do tipo creme de frango e vegetais, ao se fazer combinações de MSG e dos 5'-ribonucleotídeos, aproveitando-se o efeito sinérgico entre eles.

## 12. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Mais de um século após a descoberta do gosto umami pelo Dr. Ikeda continuam estudos para entendimento dos mecanismos de atuação, aplicações, possibilidades de uso, entendimento sobre a percepção e potencialização de sabores, bem como sinérgismos e interações com outros compostos químicos.

Com fundamentação nos resultados de muitos estudos que comprovam a potencialização dos sabores em alimentos que contém compostos químicos capazes de conferir gosto umami, essa premissa pode ser vista como relevante para aplicação em alimentos direcionados a público que apresentem diminuição ou supressão na percepção de sabores, bem como com propósito de redução de sal para promoção de alimentação saudável.

A realização de estudos com esse enfoque deve ser estimulada para que o aumento do fator hedônico possa ter papel importante em dietas especiais, contribuir para a melhoria da qualidade da ingestão de alimentos e, consequentemente, promover a nutrição adequada para grupos de indivíduos que necessitam de estímulos sensoriais e o aumento da aceitação de alimentos com finalidades dietéticas especiais.

### 13. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADLER, E. *et al.* “A novel family of mammalian taste receptors”. *Cell*. 100(6): 693-702, 2000.
- ALENCAR, M. L. *et al.* “Prevalence of celiac disease among blood donors in São Paulo: the most populated city in Brazil”. *Clinics*. 67(9): 1013-1018, 2012.
- ASTM. “E253 – 18a. Standard terminology relating to sensory evaluation of materials and products”. West Conshohocken, 2018, p. 7.
- BARTOSHUK, L. M. *et al.* “PROP (6-n-Propylthiouracil) supertasters and the saltiness of NaCl”. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 855(1): 793-796, 1998.
- BAUER, J. & REISCH, L. “Behavioural insights and (un)healthy dietary choices: a review of current evidence”. *Journal of Consumer Policy*. 42(1): 3-45, 2019.
- BEAUCHAMP, G. K. & PEARSON, P. “Human development and *umami* taste”. *Physiol Behav*. 49(5): 1009-1012, 1991.
- BELLISLE, F. “How and why should we study ingestive behaviors in humans?”. *Food Quality and Preference*. 20(8): 539-544, 2009.
- BIGIANI, A. “Glutamate receptors in taste receptor cells”. Chapter 7. *In*: GRILL, S. & PULIDO, O. *Glutamate receptors in peripheral tissue*. New York, Kluwer Academic / Plenum Publishers, 2005, pp. 129-143.
- CHAUDHARI, N.; LANDIN, A. M. & ROPER, S. D. “A metabotropic glutamate receptor variant function as a taste receptor”. *Nat Neurosci*. 3(2): 113-119, 2000.
- CHAUDHARI, N. *et al.* “The taste of monosodium glutamate: membrane receptors in taste buds”. *J Neurosci*. 16(12): 3817-3826, 1996.
- CHIKAZOE, J. *et al.* “Distinct representations of basic taste qualities in human gustatory cortex”. *Nature Communications*. 10: 1-8, 2019.
- ENGELEN, L. & VAN DER BILT, A. “Oral physiology and texture perception of semisolids”. *J. Texture Stud*. 39(1): 83-113, 2008.
- GUTIÉRREZ, C. & SANGRONIS, E. “Efecto sinérgico y cuantificación de los 5'-ribonucleótidos en una sopa de pollo”. *Arch Latinoamer Nutr*. 56(3): 26-32, 2006.

- GUYTON, A. & HALL, J. *Tratado de fisiologia médica*. 13. ed. Rio de Janeiro, Elsevier, 2014.
- JIANG, Y.; GONG, N. N. & MATSUNAMI, H. “Astringency: a more stringent definition”. *Chem. Senses*. 39(6): 467-469, 2014.
- KAWAMURA, Y. & KARE, M. *Umami: a basic taste*. New York, Marcel Dekker, 1987.
- KESSLER, F. *et al.* “Consumer perception of snack sausages enriched with umami-tasting meat protein hydrolysates”. *Meat Science*. 150: 65-76, 2019.
- KOBAYASHI, C. & KENNEDY, L. “Experience induced changes in taste identification of monosodium glutamate”. *Physiol Behav*. 75(1-2): 57-63, 2002.
- KODAMA, D. “On a procedure for separating inosinic acid”. *J Tokyo Chem Soc*. 34: 487-492, 1913.
- KUNINAKA, A. “Studies on taste of ribonucleic acid derivatives”. *J Agric Chem Soc Jpn*. 34(6): 489-492, 1960.
- LINDEMAN, B. “Receptors and transduction in taste”. *Nature*. 413: 219-225, 2001.
- LUGAZ, O.; PILLAS, A. M. & FAURION, A. “A new specific ageusia: some humans cannot taste L-Glutamate”. *Chem Senses*. 27(2): 105-115, 2002.
- MAGA, J. “Organoleptic properties of *umami* substances”. In: KAWAMURA, Y. & KARE, M. *Umami: a basic taste*. New York, Marcel Dekker, 1987, pp. 255-269.
- MAGA, J. “Flavor potentiators”. *Crit Rev Food Sci Nutr*. 18(3): 231-312, 1983.
- MARIEB, E. & HOEHN, K. *Anatomia e fisiologia*. 3. ed. Porto Alegre, Artmed, 2009, p. 1072.
- MELA, D. J. “Why do we like what we like?”. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 81(1): 10-16, 2001.
- MELLO, L. L. M. *et al.* “Expectations and acceptability of diabetic and reduced calorie milk chocolates among non-diabetics and diabetics in the USA”. *Journal of Sensory Studies*. 25(s1): 133-152, 2010.

- MIKKILÄ, V. *et al.* “Longitudinal changes in diet from childhood into adulthood with respect to risk of cardiovascular diseases: the cardiovascular risk in young finns study”. *European Journal of Clinical Nutrition*. 58(7): 1038-1045, 2004.
- NETTER, F. H. *Atlas de anatomia humana*. 6. ed. Rio de Janeiro, Elsevier, 2014.
- NINOMIYA, K. “Umami: a universal taste”. *Food Rev Int*. 18(1): 23-38, 2002.
- RALIOU, M. *et al.* “Tas1R1-Tas1R3 taste receptor variants in human fungiform papillae”. *Neurosci Lett*. 451(3): 217-221, 2009.
- ROPER, S. D. “The cell biology of vertebrate taste receptors”. *Annu. Rev. Neurosci.* 12:329-353, 1989.
- ROPER, S. D. “Taste buds as peripheral chemosensory processors”. *Semin. Cell Dev. Biol.* 24(1): 71-79, 2013.
- ROUVIERE, H. *Anatomía humana*, tomo I. 10. ed. Barcelona, Editorial Masson, 1999, pp. 400-404.
- SCHWARTZ, J. “Health decision making”. *Consumer Psychology Review*. 1(1): 107-122. 2018.
- SCINSKA-BIENKOWSKA, A. *et al.* “Glutamate concentration in whole saliva and taste responses to monosodium glutamate in humans”. *Nutr Neurosci*. 9(1-2): 25-31, 2006.
- SCLAFANI, A. “Oral and postoral determinants of food reward”. *Physiology & Behavior*. 81(5): 773-779, 2004.
- SMITH, D. V. & MARGOLSKEE, R. F. “Making sense of taste”. *Scientific American Special Edition*. 16(3): 84-92, 2006.
- STEINER, J. “What the human neonate can tell us about *umami*”. In: KAWAMURA, Y. & KARE, M. *Umami: a basic taste*. New York, Marcel Dekker, 1987, pp. 97-123.
- STEINLE, S. R. *et al.* “Avaliação da aceitação de chá mate adoçado com aspartame, extrato de estévia [*Stevia rebaudiana* (Bert.) Bertoni] e sacarose, antes e após exercício físico”. *Boletim do Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos*. 23(1): 221-227, 2005.

- TEMUSSI, P. “Sweet, bitter and *umami* receptors: a complex relationship”. *Trends Biochem Sci.* 40(10): 1-7, 2009.
- VOORPOSTEL, C. R.; DUTRA, M. L. B. & BOLINI, H. M. A. “Sensory profile and drivers of liking for grape nectar among smokers and nonsmokers consumers”. *Ciência e Tecnologia de Alimentos.* 34(1): 164-173, 2014.
- YAMAGUCHI, S. “Fundamental properties of *umami* in human taste sensation”. In: KAWAMURA, Y. & KARE, M. R. (ed.). *Umami: a basic taste, physiology, biochemistry, nutrition, food science.* New York, Marcel Dekker, 1987. pp. 41-73.
- YAMAGUCHI, S. “The synergistic taste effect of monosodium glutamate and disodium 5'-inosinate”. *J Food Sci.* 32: 473- 478, 1967.
- YAMAGUCHI, S. & KOBORI, I. “Subtleness and exquisiteness of *umami* taste in humans”. *J Food Qual Pref.* 4(1-2): 82, 1993.
- YAMAGUCHI, S. & NINOMIYA, K. “*Umami* and food palatability”. *J Nutr.* 130(4S): 921S- 926S, 2000.
- YAMAGUCHI, S. & TAKAHASHI, C. “Hedonic function of monosodium glutamate and four basic taste substances used at various concentration levels in simple and complex systems”. *Agric. Biol. Chem.* 1984a; 48: 1077-1081.
- YAMAGUCHI, S. & TAKASHASHI, C. “Interactions of monosodium glutamate and sodium chloride on saltiness and palatability of clear soup”. *J Food Sci.* 49(1): 82-85, 1984b.
- YAMAGUCHI, S. *et al.* “Measurement of the relative taste intensity of some  $\alpha$ -amino acid and 5'-nucleotides”. *J. Food Sci.* 36(6): 846-849, 1971.
- YARMOLINSKY, D. A.; ZUKER, C. S. & RYBA, N. J. P. “Common sense about taste: from mammals to insects”. *Cell.* 139: 234-244, 2009.
- ZHAO, G. Q. *et al.* “The receptors for mammalian sweet and *umami* taste”. *Cell.* 115(3): 255-266, 2003.
- ZUCKER, C. S. “Putative mammalian taste receptors: a class of taste – specific GPCRs with distinct topographic selectivity”. *Cell.* 96: 541-551, 1999.

