

**Revisitando o conceito de qualidade
proteica das proteínas vegetais**
*Revisiting the concept of protein
quality of plant proteins*

Lucas Fonseca Rodrigues Oliveira

ORIENTADO POR: MESTRE MÁRCIA SOARES GONÇALVES

COORIENTADO POR: PROF. DOUTOR VITOR HUGO DA COSTA GOMES MOREIRA TEIXEIRA

REVISÃO TEMÁTICA

I.º CICLO EM CIÊNCIAS DA NUTRIÇÃO | UNIDADE CURRICULAR ESTÁGIO

FACULDADE DE CIÊNCIAS DA NUTRIÇÃO E ALIMENTAÇÃO DA UNIVERSIDADE DO PORTO

TC

PORTO, 2023



Resumo

O aumento do consumo de fontes proteicas de origem vegetal tem sido recomendado por organizações e comités internacionais, sendo contemplado em várias diretrizes e guias alimentares, pelo duplo benefício, tanto na saúde (via redução da incidência das doenças crônicas), como no desenvolvimento de sistemas alimentares mais sustentáveis. No entanto, as fontes proteicas de origem vegetal (PVs) são reconhecidas por terem menor qualidade proteica (QP) que as de origem animal.

Ao longo dos anos, vários métodos para a avaliação da qualidade proteica foram desenvolvidos. O método atualmente recomendado pela FAO é o *Digestible Indispensable Amino Acid Score* (DIAAS) e, considera o perfil, a digestibilidade e o padrão de referência dos aminoácidos essenciais (IAA). Assim, esta revisão temática tem como objetivo revisar os métodos de avaliação da QP com ênfase no DIAAS, e expor as suas limitações em relação às PVs, bem como apresentar uma abordagem pragmática para a sua utilização adequada na população adulta.

Embora apresente algumas limitações, especialmente em relação aos padrões de referência dos IAAs, o DIAAS é o método mais adequado para a avaliação da qualidade proteica dos alimentos. Mas, a sua aplicação nas PVs exige que continue a ser estudada a digestibilidade, considerando todos os fatores que a influenciam, sendo necessários mais dados acerca da *True Ileal Digestibility* (TID_p) e da *Real Ileal Digestibility* (RID_H) de alimentos frequentemente consumidos na alimentação humana. É também recomendado

cuidado na sua interpretação, considerando o grau de relevância de valores de DIAAS dos alimentos individuais, face à complexidade dos padrões alimentares.

Palavras-Chave: Qualidade proteica; Proteína vegetal; Digestibilidade; DIAAS; Aminoácidos essenciais

Abstract

Increasing consumption of plant protein sources has been recommended by international organizations, and is contemplated in several dietary guidelines, due to the double benefit, both in health (via the reduction in the incidence of chronic diseases) and in the development of more sustainable food systems. However, plant protein sources (PVs) are known to have lower protein quality (QP) than animal protein sources.

Over the years, several methods for assessing QP have been developed. The method currently recommended by FAO is the Digestible Indispensable Amino Acid Score (DIAAS) and it considers the profile, digestibility and reference scoring pattern of essential amino acids (IAA). Thus, this thematic review aims to revisit the QP assessment methods focusing on DIAAS, and to expose its limitations regarding in relation to PVs, as well as to present a pragmatic approach for its proper use in the adult population.

Although it has some limitations, especially regarding the IAA scoring pattern, the DIAAS is the most appropriate method for assessing the QP of foods. However, its application in PVs requires further studies on digestibility, considering all the factors that influence it, and more data are needed on the True Ileal Digestibility (TID_p) and Real Ileal Digestibility (RID_H) of foods frequently consumed in the human diet. Care is also recommended in its interpretation, considering the relevance level of DIAAS values for individual foods, given the complexity of dietary patterns.

Keywords: Protein quality; Plant protein; Digestibility; DIAAS; Essential amino acids

Lista de abreviaturas, siglas e acrónimos (conforme aplicável)

AA - Aminoácidos

AA_{end} - Secreções endógenas

AAI - Aminoácido indicador

AA_{lim} - Aminoácido limitante

AAS - *Amino acid score*

AID_H - *Apparent Ileal Digestibility* em humanos

AID_P - *Apparent Ileal Digestibility* em porcos

ANF - Fatores anti-nutricionais

AR - *Average requirement*

BV - *Biological Value*

DIAAS - *Digestible indispensable amino acid score*

DIT - *Dual isotope tracer*

EAR - *Estimated average requirement*

EFSA - *European Food Safety Authority*

FAO - *Food and Agriculture Organization of the United Nations*

IAA - Aminoácidos essenciais

IAAO - *Indicator amino acid oxidation*

IVPD - *in vitro Protein Digestibility*

NPR - *Net Protein Retention/Ratio*

NPU - *Net Protein Utilization*

PDCAAS - *Protein digestibility corrected amino acid score*

PER - *Protein Efficiency Ratio*

PRI - *Population reference intake*

PV - Fontes de proteína de origem vegetal

QP - Qualidade proteica

RDA - *Recommended Dietary Allowance*

RID_H - *Real Ileal Digestibility em humanos*

SID_p - *Standardized Ileal Digestibility*

TFD - *True Fecal Digestibility*

TID-CP - *True Ileal Digestibility of Crude Protein*

TID_H - *True Ileal Digestibility em humanos*

TID_p - *True Ileal Digestibility em porcos*

Sumário

Resumo.....	i
<i>Abstract</i>	ii
Lista de abreviaturas, siglas e acrónimos.....	iii
Sumário.....	v
1. Introdução.....	1
2. Metodologia.....	2
3. Qualidade proteica.....	3
3.1. Digestibilidade proteica e biodisponibilidade de aminoácidos.....	3
3.1.1. Digestibilidade proteica total.....	4
3.1.2. Digestibilidade e biodisponibilidade de aminoácidos.....	4
3.2. Visão geral dos métodos de determinação da qualidade proteica.....	7
3.2.1. Métodos baseados na retenção de azoto e métodos baseados no crescimento de ratos.....	7
3.2.3. <i>Amino Acid Score (AAS)</i>	8
3.2.4. <i>Protein Digestibility Corrected Amino Acid Score (PDCAAS)</i>	9
3.2.5. <i>Digestible Indispensable Amino Acid Score (DIAAS)</i>	9
4. Qualidade da proteína vegetal: considerações e recomendações.....	11
5. Conclusões.....	15
Referências	
Apêndices	

1. Introdução

O aumento estimado da população global, que poderá chegar aos 9,7 mil milhões em 2050⁽¹⁾, é acompanhado de uma maior pressão sobre os sistemas alimentares, com o aumento de até 78% da produção de proteína para atender às necessidades globais.⁽²⁾ Adicionalmente, é reconhecido que as fontes proteicas de origem animal, que representam 60% da proteína fornecida em países economicamente avançados⁽³⁾, têm um impacto ambiental significativamente superior às fontes de proteína de origem vegetal (PV).⁽⁴⁻⁷⁾ É, por isso, necessária uma mudança global no sistema de produção e consumo alimentar, para fazer face às tendências de crescimento populacional. Em paralelo, a crescente evidência dos benefícios de padrões alimentares de base vegetal na redução da incidência das principais doenças crónicas⁽⁸⁻¹²⁾, também tem motivado a recomendação de um maior consumo de PV em guias e diretrizes alimentares.⁽¹³⁻¹⁶⁾

As proteínas desempenham um papel essencial no crescimento, na manutenção, e nas funções fisiológicas do corpo humano.^(17,18) São constituídas por aminoácidos (AA), que podem ser classificados como não-essenciais, sintetizados pelo corpo humano, e essenciais (IAA), que precisam ser obtidos a partir da dieta.⁽¹⁹⁾ As necessidades de ingestão proteica populacionais são definidas pela necessidade média estimada (EAR ou AR) e pela ingestão dietética recomendada (RDA ou PRI) (Apêndice A) e foram definidas considerando diferentes fontes de proteína (animal e vegetal), em proporções variáveis.^(18,20,21) Sendo a proteína a única fonte alimentar de IAAs, foram também definidas as

necessidades de ingestão diária de cada IAA⁽²²⁾; assim, o conceito de RDA expressa necessidades na forma quantitativa, mas também qualitativa.⁽²³⁾

A qualidade de uma proteína alimentar é definida pela capacidade dos AAs que a constituem em atender às necessidades de IAAs do corpo humano.⁽²⁴⁾ O método de avaliação atualmente recomendado pela FAO, o *Digestible indispensable amino acid score* (DIAAS), considera o perfil, a digestibilidade e o padrão de referência dos IAAs.⁽²²⁾ Valores mais baixos de digestibilidade, e menores quantidades de IAAs, são frequentemente citados como desvantagens das PVs em relação às de origem animal.^(25,26) No entanto, é preciso considerar as limitações metodológicas da determinação da qualidade de PVs, bem como a sua correta interpretação e utilização prática^(27,28), para que não ocorram interpretações erradas que possam impactar a adesão e a adequação nutricional dos padrões alimentares de base vegetal.

Desta forma, a presente revisão temática tem como objetivo revisar os métodos de avaliação da QP com ênfase no DIAAS, e expor as limitações relacionadas à aplicação do DIAAS para as PVs, bem como apresentar uma abordagem pragmática para a sua utilização adequada na população adulta.

2. Metodologia

A pesquisa foi realizada na base de dados *PubMed*, entre os meses de março e junho de 2022, tendo sido utilizados os seguintes termos de pesquisa: *(protein OR "amino acid") AND digestibility, plant AND protein AND DIAAS, "protein quality"[ti] AND (method*)*. A escolha e seleção inicial dos artigos foi

feita com base no resumo dos mesmos. Para a gestão das referências bibliográficas, utilizou-se o *Software EndNote X9* sob o estilo FCNAUP_2010.

3. Qualidade proteica (QP)

Segundo o método de avaliação atualmente recomendado, o DIAAS⁽²²⁾, a QP é determinada por três elementos essenciais: a composição de IAAs, a digestibilidade dos IAAs e as necessidades de IAAs (padrão de referência)⁽²³⁾. A QP é afetada indiretamente por diversos fatores que impactam estes três componentes.⁽²²⁾

3.1. Digestibilidade proteica e biodisponibilidade de aminoácidos

A digestibilidade proteica (ou dos AAs) baseia-se no princípio de que a diferença entre a ingestão e as perdas de N (ou AAs) fornece uma medida estimada da digestão e absorção da proteína dietética, na forma de AAs.^(20,29) No entanto, o termo "biodisponibilidade" é, na verdade, uma definição mais ampla da utilização da proteína, pois considera não só a digestão e a absorção, mas também a utilização metabólica dos AA pelo organismo. Ou seja, engloba fatores como a integridade química e a presença de substâncias nos alimentos que interferem no metabolismo dos AA, ainda que a maior fonte de variação da biodisponibilidade seja maioritariamente a digestibilidade.⁽²²⁾

Os métodos de medição da digestibilidade podem diferir nos seguintes parâmetros: (i) avaliação para a proteína total ou, para cada AA específico, considerando-os um nutriente individual; (ii) local de medição [no final do trato digestivo (fezes) ou, no íleo terminal]; e, (iii) medição *in vivo* (em ratos, porcos ou humanos) ou, *in vitro*.^(22, 23)

3.1.1. *Digestibilidade proteica total*

A digestibilidade proteica total pode ser definida pela diferença entre o N ingerido do alimento-teste e o N recuperado medido nas fezes ou no íleo terminal, em função do N ingerido, dado em percentagem.^(29,30) Quando o N é avaliado nas fezes ou na digesta ileal, tem-se, respetivamente, a *True Fecal Digestibility* (TFD) e a *True Ileal Digestibility of Crude Protein* (TID-CP) (Apêndice B), que podem ser aferidas nos animais ou humanos.⁽³¹⁾

Outra metodologia utilizada para determinar a digestibilidade proteica é por via de testes *in vitro*, i.e a *in vitro Protein Digestibility* (IVPD) (Apêndice B). A IVPD simula o processo de digestão num ensaio de laboratório, recorrendo à adição de enzimas digestivas.⁽³²⁾ Embora seja um método mais fácil e barato, e permita conhecer o impacto do processamento dos alimentos na digestibilidade das proteínas⁽³³⁾, não considera a complexidade da digestão *in vivo*.⁽³⁴⁾ No geral, os dados de estudos *in vivo* são preferidos, particularmente quando baseados na digestibilidade ileal.⁽²³⁾

3.1.2. *Biodisponibilidade e digestibilidade de aminoácidos*

A digestibilidade de AA pode ser expressa de diferentes formas, com diferentes terminologias, que variam entre autores e se são medidas em porcos ou humanos^(31,35-37) (Apêndice B). É determinada, tradicionalmente, pela diferença entre a quantidade de IAAs ingeridos de um alimento-teste, e de IAAs recolhidos no íleo terminal (IAAs não-absorvidos), durante o período pós-prandial, sendo apresentada em relação aos IAAs ingeridos (Apêndice B).^(29,38) No entanto, no conteúdo da digesta ileal, também há AA provenientes da produção do organismo, as secreções endógenas (AA_{end}).^(36,39) As AA_{end} podem ser basais, intrínsecas ao organismo⁽³⁶⁾ e obtidas a partir do procedimento

previamente descrito, realizado com uma alimentação sem proteína^(40,41,42) ou, específicas, influenciadas pela composição do alimento-teste⁽³⁶⁾ e conhecidas através de proteínas intrinsecamente marcadas.^(43,44) Segundo Moughan *et. al*⁽³¹⁾, se a digestibilidade é calculada sem contabilizar as AA_{end}, é definida como *Apparent Ileal Digestibility*, em humanos (AID_H) e em porcos (AID_P). Se a AID for corrigida apenas pelas AA_{end} basais, tem-se a *True Ileal Digestibility* (TID_H) ou *Standardized Ileal Digestibility* (SID_P). Caso as AA_{end} totais (basais + específicas) sejam contabilizadas, obtém-se a *Real Ileal Digestibility* (RID_H) ou *True Ileal Digestibility* (TID_P).

A digestibilidade ileal deve ser medida preferencialmente em humanos⁽²²⁾, sendo que a colheita da digesta ileal pode ser realizada através da intubação naso-ileal⁽⁴³⁾ ou, em indivíduos ostomizados.⁽³¹⁾ No entanto, por serem métodos invasivos⁽²⁹⁾, e por levantarem questões éticas que dificultam a sua aplicação na investigação^(22,45), os dados ainda são escassos⁽⁴⁶⁾. Como alternativa, a medição em porcos e ratos é recomendada⁽²²⁾, sendo preferível a aferição nos primeiros, dada a maior semelhança anatômica e fisiológica do sistema gastrointestinal⁽⁴⁷⁾, em relação ao organismo humano^(31,45), para além da própria metodologia de avaliação da digestibilidade já estar bem desenvolvida/estabelecida.^(48,49) Aliás, um estudo recente⁽⁴²⁾ encontrou excelentes correlações ($R^2 \approx 1$) para a digestibilidade ileal de IAAs e a média total de AAs, para alimentos variados, entre porcos e humanos, validando também resultados de estudos anteriores.^(43,50) Os autores propõem a utilização direta de valores de TID medidos nos porcos, sem necessidade de ajustes matemáticos⁽⁴²⁾, dada também a existência de um extenso banco de dados.⁽³¹⁾

Outros métodos menos invasivos, mas indiretos, para determinar a digestibilidade e biodisponibilidade de AAs em humanos incluem: o *Dual isotope tracer* (DIT)⁽⁴⁵⁾ e o *Indicator AA oxidation* (IAAO)⁽⁵¹⁾ (Apêndice B). Estes métodos têm como princípio a marcação intrínseca de proteínas ou AAs.^(52,53) O DIT compara a presença no plasma de AAs derivados de proteínas ingeridas (intrinsecamente marcadas), com a de uma proteína de referência (de digestibilidade conhecida em relação à refeição administrada), ingerida em simultâneo.^(45,54) O IAAO baseia-se na premissa de que, quando um IAA está em déficit no processo de síntese proteica, o excesso relativo de outros AA, incluindo o AA intrinsecamente marcado - o indicador (AAI) -, será oxidado.⁽⁵¹⁾ Assim, compara a inclinação da resposta à oxidação do AAI, com níveis de ingestão do IAA selecionado da proteína-teste, relativamente aos dos IAAs de referência.⁽⁵³⁾ Embora promissores, o seu uso é ainda limitado pelo elevado custo, necessidade de aprimoramento das técnicas, e ausência de validação.^(31,45,53,55)

A avaliação da QP na perspectiva da alimentação humana deve considerar que praticamente todos os alimentos consumidos passam por algum tipo de processamento. Estes afetam tanto a digestibilidade da proteína como a biodisponibilidade de AAs⁽²³⁾, devido a efeitos do processamento na estrutura da proteína, no teor de fatores anti nutricionais (ANF), na acessibilidade das enzimas digestivas e, também, via interações com constituintes não-proteicos.^(27,56) O efeito do processamento é maioritariamente positivo⁽²³⁾, sendo mais relevante para as PVs pelos motivos previamente citados, mas especialmente pela presença dos ANF, que incluem: inibidores das proteases,

polissacarídeos não-amiláceos, polifenóis, fibras, lectinas, saponinas e fitatos.^(27,56)

Formas comuns de processamento das PVs abrangem preparações tradicionais (demolha, cozimento, confeitão sob pressão, germinação e fermentação) e industriais (extrusão, fracionamento e autoclave)^(27,56,57) que, permitem reduzir significativamente ou, até mesmo eliminar, alguns ANF presentes nos alimentos crus^(27,56,57-60), resultando em valores de TID das PVs processadas superiores (Apêndices C e D).

Para além da influência na digestibilidade, o processamento térmico a temperaturas muito elevadas pode gerar modificações químicas na estrutura dos AAs, comprometendo a utilização metabólica.⁽⁶¹⁾ O principal exemplo é a lisina, que pode sofrer reações de *Maillard*, e ser conjugada com açúcares redutores, tendo como consequência uma biodisponibilidade reduzida.⁽⁶¹⁾

3.2. Visão geral dos métodos de qualidade proteica

Ao longo dos anos, muitos métodos diferentes foram desenvolvidos e implementados para a determinação da QP (Apêndices E e F)⁽²³⁾ e todos apresentam vantagens e desvantagens^(62,24).

3.2.1. *Métodos baseados na retenção de azoto e métodos baseados no ganho de peso corporal de ratos*

Os primeiros métodos utilizados para a avaliação da QP baseavam-se na determinação da retenção de azoto ou, no ganho de peso corporal de animais.^(17,63) A retenção de N é definida através da estimativa da utilização de proteína pelo organismo, e é dada pela diferença entre o N ingerido, as perdas fecais e urinárias e, a produção endógena de N.⁽³⁰⁾ São exemplos destes métodos

o *Biological Value* (BV)^(64,65), e o *Net Protein Utilization* (NPU)⁽⁶⁶⁻⁶⁸⁾ (Apêndice E). Estes procedimentos foram utilizados durante várias décadas e, embora sejam semelhantes entre si, distinguem-se no denominador usado: o BV indica a proporção de N retido em relação ao N absorvido; o NPU, por sua vez, apresenta a proporção de N retido em relação ao N ingerido.^(17,69) O BV do alimento-teste era, tradicionalmente, expresso relativamente ao BV do ovo.⁽¹⁷⁾

Os métodos baseados no ganho de peso corporal são: o *Protein Efficiency Ratio* (PER)^(70,71) e o *Net Protein Retention/Ratio* (NPR)⁽⁷²⁾ (Apêndice E). Estes métodos envolvem ensaios nos quais ratos em crescimento são alimentados com uma proteína-teste por um período de tempo definido.^(17,6) No final do ensaio, o ganho de peso é expresso em função da quantidade de proteína consumida e calculado em relação ao da proteína de referência (caseína)^(24,62). Os procedimentos descritos são idênticos mas, distinguem-se pelo facto do NPR incluir na sua determinação a variação do peso dos ratos alimentados com uma dieta não proteica.^(17,63) Estes métodos compreendem várias limitações, expostas no Apêndice E^(17,24,30,73,74), que são reconhecidas pela comunidade internacional e refletem o seu uso escasso pelas entidades regulatórias de todo o mundo⁽²⁴⁾.

3.2.2. O *Amino Acid Score* (AAS)

O conceito de *Amino Acid Score* (AAS), equivalente ao *Chemical Score* (CS)⁽³⁰⁾, foi introduzido inicialmente em 1946⁽⁷⁵⁾ (Apêndice F). O AAS é calculado para cada IAA, pela razão das respetivas quantidades na proteína-teste (mg/g de proteína) e o padrão de referência, sendo que o valor do AAS da proteína é referente ao AA limitante (AA_{lim}), ou seja, o IAA em menor quantidade relativamente ao padrão de referência.^(30,53) O padrão de referência inicial foi a composição de AA das proteínas do ovo, até mais tarde serem definidas as

primeiras estimativas das necessidades de AA para humanos.^(76,77) Considerando as limitações do PER, o AAS foi proposto como uma alternativa mais adequada para a determinação da QP. No entanto, a precisão de sua utilização se limita às proteínas com elevada digestibilidade, sendo necessário ajustar pela digestibilidade para as fontes proteicas menos digestíveis⁽³⁰⁾.

3.2.3. O *Protein digestibility corrected amino acid score* (PDCAAS)

Em 1991, considerando os avanços tecnológicos alcançados, a FAO propôs a utilização do *Protein digestibility corrected amino acid score* (PDCAAS) como método oficial para avaliar a QP (Apêndice F).⁽³⁰⁾ Este sistema foi obtido a partir do AAS, mas considera a digestibilidade da proteína, através de um valor único de digestibilidade (TFPD), aferido em ratos.^(24,30,38) À data, foram propostos dois padrões de referências de IAAs temporários^(17,78), posteriormente atualizados no relatório da FAO de 2007⁽²⁰⁾ (Apêndice F). Apesar destas modificações, dos avanços em relação aos métodos anteriores, e da sua ampla utilização, a metodologia PDCAAS continuou a ser alvo de críticas.^(20,73,79-81)

3.2.4. O *Digestible indispensable amino acid score* (DIAAS)

Em 2011, foi reunida uma comissão de especialistas da FAO com o objetivo de rever e ultrapassar as limitações do PDCAAS.^(17,20,73,82) O relatório desta comissão, emitido em 2013, recomendou sua substituição pelo DIAAS (Apêndice F), um método semelhante ao anterior, mas no qual o AAS é corrigido pela TID de cada IAA em específico, que também pode ser interpretado pelo IAA corrigido pela sua TID, obtendo-se o IAA digestível (DIAA), e dividindo este valor pelo padrão de referência^(22,62,38). O menor valor encontrado de DIAA é atribuído como o DIAAS (expresso em %), sendo o IAA referente ao menor DIAA, o AA_{lim} ^(22,38).

Os valores de DIAAS de fontes proteicas individuais podem ser utilizados para: (i) calcular o DIAAS de um padrão alimentar para garantir o suprimento das necessidades proteicas, dada a variedade de fontes proteicas; (ii) documentar o benefício adicional de fontes proteicas individuais com pontuações mais elevadas, para a complementaridade de proteínas com valores menores; e, (iii) para fins regulatórios, nomeadamente a classificação e monitorização da adequação proteica de géneros alimentícios.⁽²²⁾

A introdução do DIAAS enquanto nova metodologia para a avaliação da QP teve como vantagens: a utilização de valores de digestibilidade ileal para cada IAA, ao invés de um valor único de digestibilidade fecal para a proteína total^(22,53); a utilização preferencial de valores de TID medidos em humanos e porcos^(22,24); a possibilidade dos resultados da pontuação excederem os 100% - ao contrário do PDCAAS, cujos valores eram truncados no 100% -, que permite a classificação de todas as proteínas dietéticas por sua qualidade a complementaridade de proteínas de menor qualidade, ou seja, permitindo o cálculo direto da QP de dietas mistas^(22,83); a ponderação da quantidade e digestibilidade da lisina reativa, em vez da lisina total, para alimentos processados⁽²²⁾; e, por fim, a correção dos valores dos padrões de referência, e das necessidades de ingestão de IAAs de certas faixas etárias (ajustados para a EAR, que poderão ser consultadas no (Apêndice G), bem como a especificação de padrões de referência para a avaliação nutricional, e para fins regulatórios (que correspondem a 3 e a 2 padrões de referência, respetivamente, e que poderão ser conhecidos no apêndice H).^(20,22,84)

Embora seja considerado o método mais adequado para avaliação da QP⁽⁸⁵⁾, o DIAAS apresenta limitações relacionadas com os elementos que o

compõem, nomeadamente: a determinação da composição de IAAs, como possíveis imprecisões na medição do conteúdo de IAAs na fonte proteica, na dieta-teste e, na digesta ileal, que poderão levar a variações significativas nos valores de DIAAS⁽⁵³⁾; a biodisponibilidade e digestibilidade dos AAs, pois apesar da utilização da TID para cada AA, e ser ponderada a lisina reativa, outros AAs poderão sofrer modificações químicas durante o processamento⁽⁶¹⁾, não aferindo a efetiva utilização metabólica de todos os IAAs^(22,24,38); e os padrões de referência, cuja determinação já foi questionada por alguns autores, pelo facto de serem obtidos a partir da divisão das necessidades de IAAs diárias pela EAR da proteína [e não pela RDA, considerando que no método IAAO para determinação das necessidades de IAAs, os valores de ingestão de proteína ou IAAs livres eram iguais ou até superiores à RDA (0,8-1,0g/kg/dia)^(38,84)]; e, também, a possibilidade dos valores de DIAAS estarem subestimados para a população adulta, tendo em conta o recurso ao padrão de referência de >3 anos, de crescimento, para toda a população (Apêndice F), ao invés do padrão de referência >18 anos (manutenção).

4. Qualidade da proteína vegetal: considerações e recomendações

Para além das limitações genéricas do DIAAS discutidas previamente, devem ser ponderadas as suas fraquezas no que concerne à avaliação da QP das PV, especificamente em torno de aspetos como a determinação, a utilização e a apresentação adequada dos dados de digestibilidade dos AAs e, o contexto alimentar (complementaridade de fontes proteicas).

Considerando que já se passou uma década desde a recomendação da utilização do DIAAS⁽²²⁾, a primeira limitação identificada é a escassez de dados de

digestibilidade ileal de IAAs das PV (medidos em humanos ou porcos) para alimentos comumente consumidos na alimentação humana^(42,85-87), especialmente alimentos de origem vegetal - onde se incluem o tofu, o tempeh, a bebida e a alternativa ao iogurte de soja, o seitan e os produtos análogos à carne^(44,88) -, mas também alimentos que não necessariamente são boas fontes proteicas (hortofrutícolas), mas cujo consumo é prevalente nos PAs de base vegetal⁽⁸⁹⁾ e podem contribuir para a ingestão total de IAAs.^(42,86) Para além dos alimentos individuais, é também escassa a informação para refeições complexas.⁽⁸⁶⁾

A informação não é apenas escassa em relação ao tipo de alimentos disponíveis, mas também no seu grau de detalhe, nomeadamente no impacto do processamento alimentar. Muitos dos dados de digestibilidade ileal derivam de alimentos crus (ao invés de cozidos/processados) ou, na forma de proteínas isoladas ou concentradas (extraídas da sua matriz alimentar).^(82,90-102) Isto deve-se ao fato da maioria dos dados existentes serem provenientes de alimentos utilizados para alimentação animal.^(42,94-103) No entanto, como explicado na seção 3.1.2, o processamento tem um impacto significativo na digestibilidade. No caso dos dados de alimentos em cru, a presença dos ANF implica valores de digestibilidade inferiores, consequentemente subestimando os valores de DIAAS, em relação à sua forma processada.^(27,104) Para as proteínas isoladas, o efeito é oposto, sobrestimando os valores de digestibilidade, e de DIAAS⁽²⁵⁾. Assim, os valores de DIAAS de alimentos crus ou, de proteínas isoladas, dificilmente serão representativos dos alimentos realmente consumidos na dieta humana.^(23,28)

A fim de solucionar estas limitações, recentemente, foram publicados dados de alternativas à carne e laticínios^(44,105) e, de alimentos comuns como leguminosas e cereais cozidos.^(106,107) Foi também iniciado o projeto PROTEOS,

que tem como objetivo gerar mais dados de TID (em porcos), relativos a alimentos comumente consumidos.⁽⁴²⁾

Outras limitações relevantes são a falta de padronização na determinação da digestibilidade ileal e, a falta de cuidado na apresentação dos resultados e dos termos utilizados. Especificamente, apesar de recentemente ter sido desenvolvido um protocolo para padronizar a determinação da digestibilidade ileal⁽⁴⁹⁾, e para uniformizar os termos utilizados^(31,45), em vários estudos ainda são observadas diferenças na determinação da digestibilidade ileal: muitos corrigem a AID apenas para as AA_{end} basais (TID_H/SID_p)^(40-42,105-107), enquanto são escassos os trabalhos que ajustam para AA_{end} basais e específicas.^(43,44) No entanto, sendo as fibras e ANF responsáveis pelas AA_{end} específicas⁽³⁶⁾, para as PVs não isoladas, é essencial considerá-las para obter um valor preciso de digestibilidade, ou seja, obter os valores de RID_H/TID_p , caso contrário, os valores serão subestimados.^(31,36) Já para proteínas de origem animal e PV isoladas, que não contêm fibras ou ANF, não é relevante medir as AA_{end} específicas, ou seja, a TID_H/SID_p será equivalente à RID_H/TID_p ⁽³⁶⁾. E, ainda, a determinação e utilização da digestibilidade em ratos ainda é comum.^(32,108-112) Embora a FAO⁽²²⁾ ainda a recomende, em caso de ausência de dados em humanos ou porcos (Apêndice I), considerando o já exposto neste trabalho, não deve ser recomendada.^(42,47)

Quanto à forma de apresentar os resultados, é evidente alguma falta de cuidado na apresentação dos resultados de certos estudos. Em concreto, alguns trabalhos indicam a TID_p quando apenas as AA_{end} basais foram consideradas^(106,107); não explicitam qual o nível de processamento do alimento⁽⁹⁶⁾ ou, até assumem que o alimento é cozido, quando na verdade é cru⁽¹¹³⁾; e, vários outros trabalhos

compilam e comparam valores de DIAAS obtidos de diferentes formas (níveis de processamento, espécies-teste e métodos de digestibilidade).^(26,87,114,115) Portanto, é importante utilizar os termos adequados, deixar explícito como o valor indicado de digestibilidade e do DIAAS foram obtidos, bem como considerar as diferenças metodológicas ao analisar os resultados e fazer considerações.

Por fim, é importante enquadrar a utilização da metodologia DIAAS em contextos de segurança alimentar, e de uma disponibilidade alimentar variada. Embora seja reconhecido que todas as PVs possuem todos os 9 IAAs, algumas estão em quantidades menos ótimas em relação às necessidades humanas.^(116,117) Os exemplos mais comuns são a lisina nos cereais e derivados, e a metionina nas leguminosas.^(28,116) No entanto, historicamente, estes dois grupos alimentares, e seus respectivos derivados, são amplamente consumidos, e muitas vezes em conjunto, nas diferentes culturas.⁽²⁸⁾ Além disso, as alternativas à carne e laticínios com boa qualidade proteica^(44,105) têm-se tornado mais frequentes em padrões alimentares de base vegetal.⁽⁸⁸⁾

O consumo de PVs de diferentes grupos alimentares garante a complementaridade do perfil de AAs⁽¹¹⁸⁾, e permite assegurar as necessidades. No entanto, embora não pareça ser estritamente necessário consumir PVs de diferentes grupos alimentares na mesma refeição⁽⁷⁷⁾, estudos recentes demonstraram valores de biodisponibilidade da metionina maiores, quando a lentilha⁽¹¹³⁾ ou, grão-de-bico⁽¹¹⁹⁾ foram consumidos com arroz. Um estudo recente⁽¹²⁰⁾ calculou o DIAAS para um dia alimentar apenas com PVs mas, apesar de estarem presentes as várias limitações descritas neste trabalho, este permitiu reforçar o contributo positivo das alternativas à carne e laticínios para a ingestão proteica⁽⁴⁴⁾ e, a importância de se ter uma alimentação variada, com

foco nas leguminosas. Não obstante, considerando a diversidade da alimentação humana, especialmente nos países onde a maioria da população beneficia de segurança alimentar, e do acesso a vários grupos alimentares, seria irreal pensar que alguém obteria toda sua proteína diária de um único alimento.⁽¹¹⁶⁾ Por isso, deve ser enquadrado todo o contexto alimentar aquando da utilização do DIAAS, caso contrário, a análise de valores individuais pode levar a extrapolações equivocadas e irrealistas (Apêndice J).^(105,116)

5. Conclusões

O DIAAS é o método mais adequado para a avaliação da QP dos alimentos, embora seja necessário retomar a discussão dos padrões de referência recomendados, e dos seus respetivos cálculos. Quanto à utilização do DIAAS, especificamente para as PVs, é importante que estudos continuem a ser desenvolvidos para aumentar o banco de dados de TID_p/RID_H de alimentos na forma em que são comumente consumidos por humanos, e que este padrão seja mantido para o cálculo do DIAAS e, por fim, cuidado na interpretação, considerando o grau de relevância de valores de DIAAS dos alimentos individuais, face à complexidade dos padrões alimentares. Adicionalmente, por questões éticas, é crucial que novos estudos sejam desenvolvidos para validação dos métodos DIT e IAAO.

Agradecimentos

Agradeço à Dr. Márcia Gonçalves por toda a ajuda prestada durante a elaboração desta revisão temática.

Referências

1. United Nations. Department of Economic and Social Affairs Population Division. World Population Prospects 2022: Summary of Results. New York: UN DESA/POP/2022/TR/NO. 3.; 2022.
2. Henchion M, Hayes M, Mullen AM, Fenelon M, Tiwari B. Future Protein Supply and Demand: Strategies and Factors Influencing a Sustainable Equilibrium. *Foods*. 2017; 6(7):53.
3. Our World in Data. Daily protein supply from animal and plant-based foods. 2020. Disponível em: <https://ourworldindata.org/grapher/daily-protein-supply-from-animal-and-plant-based-foods>.
4. Clark M, Springmann M, Rayner M, Scarborough P, Hill J, Tilman D, et al. Estimating the environmental impacts of 57,000 food products. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2022; 119(33):e2120584119.
5. Poore J, Nemecek T. Reducing foods environmental impacts through producers and consumers. *Science*. 2018; 360(6392):987-92.
6. Cassidy ES, West PC, Gerber JS, Foley JA. Redefining agricultural yields: from tonnes to people nourished per hectare. *Environmental Research Letters*. 2013; 8(3):034015.
7. Shepon A, Eshel G, Noor E, Milo R. The opportunity cost of animal based diets exceeds all food losses. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2018; 115(15):3804-09.
8. Jafari S, Hezaveh E, Jalilpiran Y, Jayedi A, Wong A, Safaiyan A, et al. Plant-based diets and risk of disease mortality: a systematic review and meta-analysis of cohort studies. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2022; 62(28):7760-72.
9. Quek J, Lim G, Lim WH, Ng CH, So WZ, Toh J, et al. The Association of Plant-Based Diet With Cardiovascular Disease and Mortality: A Meta-Analysis and Systematic Review of Prospect Cohort Studies [Systematic Review]. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*. 2021; 8
10. Zhong VW, Allen NB, Greenland P, Carnethon MR, Ning H, Wilkins JT, et al. Protein foods from animal sources, incident cardiovascular disease and all-cause mortality: a substitution analysis. *Int J Epidemiol*. 2021; 50(1):223-33.
11. Oussalah A, Levy J, Berthezène C, Alpers DH, Guéant JL. Health outcomes associated with vegetarian diets: An umbrella review of systematic reviews and meta-analyses. *Clin Nutr*. 2020; 39(11):3283-307.

12. Gan ZH, Cheong HC, Tu Y-K, Kuo P-H. Association between Plant-Based Dietary Patterns and Risk of Cardiovascular Disease: A Systematic Review and Meta-Analysis of Prospective Cohort Studies. *Nutrients*. 2021; 13(11):3952.
13. Meltzer HM, Brantsæter AL, Trolle E, Eneroth H, Fogelholm M, Ydersbond TA, et al. Environmental Sustainability Perspectives of the Nordic Diet. *Nutrients*. 2019; 11(9):2248.
14. Government of Canada. Canada's Food Guide. Disponível em: <https://food-guide.canada.ca/en/>.
15. Brink E, van Rossum C, Postma-Smeets A, Stafleu A, Wolvers D, van Dooren C, et al. Development of healthy and sustainable food-based dietary guidelines for the Netherlands. *Public Health Nutrition*. 2019; 22(13):2419-35.
16. Willett W, Rockström J, Loken B, Springmann M, Lang T, Vermeulen S, et al. Food in the Anthropocene: the EAT Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. *The Lancet*. 2019; 393(10170):447-92.
17. Boye J, Wijesinha-Bettoni R, Burlingame B. Protein quality evaluation twenty years after the introduction of the protein digestibility corrected amino acid score method. *Br J Nutr*. 2012; 108 Suppl 2:S183-211.
18. Institute of Medicine. Dietary Reference Intakes for Energy, Carbohydrate, Fiber, Fat, Fatty Acids, Cholesterol, Protein, and Amino Acids. Washington, DC: The National Academies Press; 2005.
19. Wu G. Amino acids: metabolism, functions, and nutrition. *Amino Acids*. 2009; 37(1):1-17.
20. Food and Agriculture Organization of the United Nations World Health Organization & United Nations University. Protein and amino acid requirements in human nutrition: report of a joint FAO/WHO/UNU expert consultation. World Health Organization; 2007.
21. EFSA Panel on Dietetic Products N, Allergies. Scientific Opinion on Dietary Reference Values for protein. *EFSA Journal*. 2012; 10(2):2557.
22. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Dietary protein quality evaluation in human nutrition: Report of an FAO Expert Consultation. Rome; 2013.
23. Adhikari S, Schop M, de Boer IJM, Huppertz T. Protein Quality in Perspective: A Review of Protein Quality Metrics and Their Applications. *Nutrients*. 2022; 14(5):947.
24. Marinangeli CPF, House JD. Potential impact of the digestible indispensable amino acid score as a measure of protein quality on dietary regulations and health. *Nutr Rev*. 2017; 75(8):658-67.

25. Pinckaers PJM, Trommelen J, Snijders T, van Loon LJC. The Anabolic Response to Plant-Based Protein Ingestion. *Sports Medicine*. 2021; 51(1):59-74.
26. Berrazaga I, Micard V, Gueugneau M, Walrand S. The Role of the Anabolic Properties of Plant- versus Animal-Based Protein Sources in Supporting Muscle Mass Maintenance: A Critical Review. *Nutrients*. 2019; 11(8):1825.
27. Sá AGA, Moreno YMF, Carciofi BAM. Food processing for the improvement of plant proteins digestibility. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2020; 60(20):3367-86.
28. Mariotti F, Gardner CD. Dietary Protein and Amino Acids in Vegetarian Diets—A Review. *Nutrients*. 2019; 11(11):2661.
29. Shivakumar N, Jackson AA, Courtney-Martin G, Elango R, Ghosh S, Hodgkinson S, et al. Protein Quality Assessment of Follow-up Formula for Young Children and Ready-to-Use Therapeutic Foods: Recommendations by the FAO Expert Working Group in 2017. *The Journal of Nutrition*. 2020; 150(2):195-201.
30. Protein quality evaluation. Joint FAO/WHO. FAO Food Nutr Pap. 1991; 51:1-66.
31. Moughan PJ, Wolfe RR. Determination of Dietary Amino Acid Digestibility in Humans. *The Journal of Nutrition*. 2019; 149(12):2101-09.
32. Nosworthy MG, Medina G, Franczyk AJ, Neufeld J, Appah P, Utioh A, et al. Effect of processing on the in vitro and in vivo protein quality of red and green lentils (*Lens culinaris*). *Food Chemistry*. 2018; 240:588-93.
33. Bohn T, Carriere F, Day L, Deglaire A, Egger L, Freitas D, et al. Correlation between in vitro and in vivo data on food digestion. What can we predict with static in vitro digestion models? *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2018; 58(13):2239-61.
34. Khattab RY, Arntfield SD, Nyachoti CM. Nutritional quality of legume seeds as affected by some physical treatments, Part 1: Protein quality evaluation. *LWT - Food Science and Technology*. 2009; 42(6):1107-12.
35. Stein HH, Fuller MF, Moughan PJ, Sève B, Mosenthin R, Jansman AJM, et al. Definition of apparent, true, and standardized ileal digestibility of amino acids in pigs. *Livestock Science*. 2007; 109(1):282-85.
36. Moughan PJ, Rutherfurd SM. Gut luminal endogenous protein: implications for the determination of ileal amino acid digestibility in humans. *Br J Nutr*. 2012; 108 Suppl 2:S258-63.
37. Stein HH, Sève B, Fuller MF, Moughan PJ, de Lange CF. Invited review: Amino acid bioavailability and digestibility in pig feed ingredients: terminology and application. *J Anim Sci*. 2007; 85(1):172-80.

38. Wolfe RR, Rutherfurd SM, Kim IY, Moughan PJ. Protein quality as determined by the Digestible Indispensable Amino Acid Score: evaluation of factors underlying the calculation. *Nutr Rev.* 2016; 74(9):584-99.
39. Miner-Williams W, Deglaire A, Benamouzig R, Fuller MF, Tomé D, Moughan PJ. Endogenous proteins in terminal ileal digesta of adult subjects fed a casein-based diet. *Am J Clin Nutr.* 2012; 96(3):508-15.
40. Moughan PJ, Butts CA, van Wijk H, Rowan AM, Reynolds GW. An acute ileal amino acid digestibility assay is a valid procedure for use in human ileostomates. *J Nutr.* 2005; 135(3):404-9.
41. Calvez J, Benoit S, Piedcoq J, Khodorova N, Azzout-Marniche D, Tomé D, et al. Very low ileal nitrogen and amino acid digestibility of zein compared to whey protein isolate in healthy volunteers. *Am J Clin Nutr.* 2021; 113(1):70-82.
42. Hodgkinson SM, Stroebinger N, van der Wielen N, Mensink M, Montoya C, Hendriks WH, et al. Comparison of True Ileal Amino Acid Digestibility between Adult Humans and Growing Pigs. *J Nutr.* 2022; 152(7):1635-46.
43. Deglaire A, Bos C, Tomé D, Moughan PJ. Ileal digestibility of dietary protein in the growing pig and adult human. *Br J Nutr.* 2009; 102(12):1752-9.
44. Reynaud Y, Buffière C, Cohade B, Vauris M, Liebermann K, Hafnaoui N, et al. True ileal amino acid digestibility and digestible indispensable amino acid scores (DIAASs) of plant-based protein foods. *Food Chemistry.* 2021; 338:128020.
45. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Research approaches and methods for evaluating the protein quality of human foods. Report of a FAO Expert Working Group. Bangalore, India; 2014.
46. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Protein quality assessment in follow-up formula for young children and ready to use therapeutic foods. Report of the FAO Expert Working Group. Rome, Italy; 2018.
47. Deglaire A, Moughan PJ. Animal models for determining amino acid digestibility in humans - a review. *Br J Nutr.* 2012; 108 Suppl 2:S273-81.
48. Moughan PJ, Miner-Williams W. Determination of Protein Digestibility in the Growing Pig. In: Blachier F, Wu G, Yin Y, editors. *Nutritional and Physiological Functions of Amino Acids in Pigs.* Vienna: Springer Vienna; 2013. p. 251-71.
49. Hodgkinson SM, Stein HH, de Vries S, Hendriks WH, Moughan PJ. Determination of True Ileal Amino Acid Digestibility in the Growing Pig for Calculation of Digestible Indispensable Amino Acid Score (DIAAS). *J Nutr.* 2020; 150(10):2621-23.
50. Rowan AM, Moughan PJ, Wilson MN, Maher K, Tasman-Jones C. Comparison of the ileal and faecal digestibility of dietary amino acids in adult humans and

evaluation of the pig as a model animal for digestion studies in man. *Br J Nutr.* 1994; 71(1):29-42.

51. Elango R, Levesque C, Ball RO, Pencharz PB. Available versus digestible amino acids - new stable isotope methods. *Br J Nutr.* 2012; 108 Suppl 2:S306-14.

52. Trommelen J, Holwerda AM, Pinckaers PJM, van Loon LJC. Comprehensive assessment of post-prandial protein handling by the application of intrinsically labelled protein in vivo in human subjects. *Proc Nutr Soc.* 2021; 80(2):221-29.

53. Bandyopadhyay S, Kashyap S, Calvez J, Devi S, Azzout-Marniche D, Tomé D, et al. Evaluation of Protein Quality in Humans and Insights on Stable Isotope Approaches to Measure Digestibility - A Review. *Advances in Nutrition.* 2022; 13(4):1131-43.

54. Devi S, Varkey A, Sheshshayee MS, Preston T, Kurpad AV. Measurement of protein digestibility in humans by a dual-tracer method. *Am J Clin Nutr.* 2018; 107(6):984-91.

55. Kashyap S, Bellam HRR, Preston T, Devi S, Kurpad AV. Measurement of True Indispensable Amino Acid Digestibility by the Dual Isotope Tracer Technique: A Methodological Review. *J Nutr.* 2023; 153(1):17-26.

56. Samtiya M, Aluko RE, Dhewa T. Plant food anti-nutritional factors and their reduction strategies: an overview. *Food Production, Processing and Nutrition.* 2020; 2(1):6.

57. Stone AK, Wang Y, Tulbek M, Nickerson MT. Plant Protein Ingredients. In: Melton L, Shahidi F, Varelis P, editores. *Encyclopedia of Food Chemistry.* Oxford: Academic Press; 2019. p. 229-34.

58. Drulyte D, Orlien V. The Effect of Processing on Digestion of Legume Proteins. *Foods.* 2019; 8(6)

59. Joye I. Protein Digestibility of Cereal Products. *Foods.* 2019; 8(6):199.

60. Avilés-Gaxiola S, Chuck-Hernández C, Serna Saldívar SO. Inactivation Methods of Trypsin Inhibitor in Legumes: A Review. *J Food Sci.* 2018; 83(1):17-29.

61. Rutherford SM, Moughan PJ. Available versus digestible dietary amino acids. *Br J Nutr.* 2012; 108 Suppl 2:S298-305.

62. Mansilla WD, Marinangeli CPF, Cargo-Froom C, Franczyk A, House JD, Elango R, et al. Comparison of methodologies used to define the protein quality of human foods and support regulatory claims. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism.* 2020; 45(9):917-26.

63. Gilani GS. Background on international activities on protein quality assessment of foods. *Br J Nutr.* 2012; 108 Suppl 2:S168-82.

64. Thomas K. Über die biologische Wertigkeit der stickstoff-substanzen in 1909 verschiedenen Nahrungsmitteln. Arch Physiol. 1909; 219
65. Mitchell HH. A METHOD OF DETERMINING THE BIOLOGICAL VALUE OF PROTEIN. Journal of Biological Chemistry. 1924; 58(3):873-903.
66. Bender AE, Miller DS. A new brief method of estimating net protein value. Biochem J. 1953; 53(1):vii.
67. Miller DS, Bender AE. The Determination of the Net Utilization of Proteins by a Shortened Method. British Journal of Nutrition. 1955; 9(4):382-88.
68. Bender AE, Doell BH. Note on the determination of net protein utilization by carcass analysis. British Journal of Nutrition. 1957; 11(2):138-39.
69. Hoffman JR, Falvo MJ. Protein - Which is Best? J Sports Sci Med. 2004; 3(3):118-30.
70. Osborne TB ML, and Ferry EL. A method of expressing numerically the growth-promoting value of proteins. J Biol Chem. 1919(2):223-29.
71. Food and Drug Regulations (Canada). Protein Rating Method FO-1. 1981. Disponible em: https://www.hc-sc.gc.ca/fn-an/alt_formats/hpfb-dgpsa/pdf/res-rech/fo-1-eng.pdf.
72. Bender AE, Doell BH. Biological evaluation of proteins; a new aspect. Br J Nutr. 1957; 11(2):140-8.
73. Schaafsma G. Advantages and limitations of the protein digestibility-corrected amino acid score (PDCAAS) as a method for evaluating protein quality in human diets. Br J Nutr. 2012;108 Suppl 2:S333-S336.
74. Mariotti F. 35 - Plant Protein, Animal Protein, and Protein Quality. In: Mariotti F, editor. Vegetarian and Plant-Based Diets in Health and Disease Prevention. Academic Press; 2017. p. 621-42.
75. MITCHELL HH, BLOCK RJ. Some relationships between the amino acid contents of proteins and their nutritive values for the rat. J Biol Chem. 1946;163:599-620.
76. Joint FAO/WHO Ad Hoc Expert Committee on Energy and Protein Requirements, World Health Organization & Food and Agriculture Organization of the United Nations. (1973). Energy and protein requirements : report of a Joint FAO/WHO ad hoc expert committee [meeting held in Rome from 22 March to 2 April 1971]. World Health Organization. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/41042>
77. Young VR, Pellett PL. Plant proteins in relation to human protein and amino acid nutrition. Am J Clin Nutr. 1994;59(5 Suppl):1203S-1212S.

78. Joint FAO/WHO/UNU Expert Consultation. Energy and protein requirements: report of a Joint FAO/WHO/UNU Expert Consultation. Rome, Italy: World Health Organization; 1985. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/39527>.
79. Schaafsma G. The protein digestibility-corrected amino acid score. *J Nutr.* 2000;130(7):1865S-7S.
80. Schaafsma G. The Protein Digestibility-Corrected Amino Acid Score (PDCAAS)--a concept for describing protein quality in foods and food ingredients: a critical review. *J AOAC Int.* 2005;88(3):988-994.
81. Sarwar G. The protein digestibility-corrected amino acid score method overestimates quality of proteins containing antinutritional factors and of poorly digestible proteins supplemented with limiting amino acids in rats. *J Nutr.* 1997;127(5):758-764.
82. Mathai JK, Liu Y, Stein HH. Values for digestible indispensable amino acid scores (DIAAS) for some dairy and plant proteins may better describe protein quality than values calculated using the concept for protein digestibility-corrected amino acid scores (PDCAAS). *Br J Nutr.* 2017;117(4):490-499.
83. Bailey HM, Stein HH. Can the digestible indispensable amino acid score methodology decrease protein malnutrition. *Anim Front.* 2019;9(4):18-23.
84. Millward DJ. Amino acid scoring patterns for protein quality assessment. *Br J Nutr.* 2012;108 Suppl 2:S31-S43.
85. Lee WT, Weisell R, Albert J, Tomé D, Kurpad AV, Uauy R. Research Approaches and Methods for Evaluating the Protein Quality of Human Foods Proposed by an FAO Expert Working Group in 2014. *J Nutr.* 2016;146(5):929-932.
86. Craddock JC, Genoni A, Strutt EF, Goldman DM. Limitations with the Digestible Indispensable Amino Acid Score (DIAAS) with Special Attention to Plant-Based Diets: a Review. *Curr Nutr Rep.* 2021;10(1):93-98.
87. Herreman L, Nommensen P, Pennings B, Laus MC. Comprehensive overview of the quality of plant- And animal-sourced proteins based on the digestible indispensable amino acid score. *Food Sci Nutr.* 2020;8(10):5379-5391.
88. Alcorta A, Porta A, Tárrega A, Alvarez MD, Vaquero MP. Foods for Plant-Based Diets: Challenges and Innovations. *Foods.* 2021;10(2):293.
89. Papier K, Tong TY, Appleby PN, et al. Comparison of Major Protein-Source Foods and Other Food Groups in Meat-Eaters and Non-Meat-Eaters in the EPIC-Oxford Cohort. *Nutrients.* 2019;11(4):824.

90. Gaudichon C, Bos C, Morens C, et al. Ileal losses of nitrogen and amino acids in humans and their importance to the assessment of amino acid requirements. *Gastroenterology*. 2002;123(1):50-59.
91. Moughan PJ, Butts CA, van Wijk H, Rowan AM, Reynolds GW. An acute ileal amino acid digestibility assay is a valid procedure for use in human ileostomates. *J Nutr*. 2005;135(3):404-409.
92. Abelilla JJ, Liu Y, Stein HH. Digestible indispensable amino acid score (DIAAS) and protein digestibility corrected amino acid score (PDCAAS) in oat protein concentrate measured in 20- to 30-kilogram pigs. *J Sci Food Agric*. 2018;98(1):410-414.
93. Guillin FM, Gaudichon C, Guérin-Deremaux L, et al. Real ileal amino acid digestibility of pea protein compared to casein in healthy humans: a randomized trial. *Am J Clin Nutr*. 2022;115(2):353-363.
94. Federatie Nederlandse Diervoederketen (FND). CVB Feed Table 2016. Chemical composition and nutritional values of feedstuffs. 2016. Disponivel em: https://images.engormix.com/externalFiles/6_cvb-feed-table-2016-version-1.pdf.
95. Cervantes-Pahm SK, Stein HH. Ileal digestibility of amino acids in conventional, fermented, and enzyme-treated soybean meal and in soy protein isolate, fish meal, and casein fed to weanling pigs. *J Anim Sci*. 2010;88(8):2674-2683.
96. National Research Council. *Nutrient Requirements of Swine*. Washington, DC: The National Academies Press; 2012.
97. Gilani S, Tomé D, Moughan P, Burlingame B. Report of a Sub-Committee of the 2011 FAO Consultation on “Protein Quality Evaluation in Human Nutrition” on: The assessment of amino acid digestibility in foods for humans and including a collation of published ileal amino acid digestibility data for human foods. 2011
98. Cervantes-Pahm SK, Liu Y, Stein HH. Digestible indispensable amino acid score and digestible amino acids in eight cereal grains. *Br J Nutr*. 2014;111(9):1663-1672.
99. Kaewtapee C, Eklund M, Wiltafsky M, Piepho HP, Mosenthin R, Rosenfelder P. Influence of wet heating and autoclaving on chemical composition and standardized ileal crude protein and amino acid digestibility in full-fat soybeans for pigs. *J Anim Sci*. 2017;95(2):779-788.
100. Yin YL, Li TJ, Huang RL, Liu ZQ, Kong XF, Chu WY, Tan BE, Deng D, Kang P, Yin FG. Evaluating standardized ileal digestibility of amino acids in growing pigs. *Animal Feed Science and Technology*. 2008;140(3-4):385-401.
101. Baker KM, Stein HH. Amino acid digestibility and concentration of digestible and metabolizable energy in soybean meal produced from

conventional, high-protein, or low-oligosaccharide varieties of soybeans and fed to growing pigs. *J Anim Sci.* 2009;87(7):2282-2290.

102. Stein HH, Bohlke RA. The effects of thermal treatment of field peas (*Pisum sativum* L.) on nutrient and energy digestibility by growing pigs. *J Anim Sci.* 2007;85(6):1424-1431.

103. Burd NA, Beals JW, Martinez IG, Salvador AF, Skinner SK. Food-First Approach to Enhance the Regulation of Post-exercise Skeletal Muscle Protein Synthesis and Remodeling. *Sports Med.* 2019;49(Suppl 1):59-68.

104. Nichele S, Phillips SM, Boaventura BCB. Plant-based food patterns to stimulate muscle protein synthesis and support muscle mass in humans: a narrative review. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2022;47(7):700-710.

105. Fanelli NS, Bailey HM, Thompson TW, Delmore R, Nair MN, Stein HH. Digestible indispensable amino acid score (DIAAS) is greater in animal-based burgers than in plant-based burgers if determined in pigs. *Eur J Nutr.* 2022;61(1):461-475.

106. Han F, Moughan PJ, Li J, Pang S. Digestible Indispensable Amino Acid Scores (DIAAS) of Six Cooked Chinese Pulses. *Nutrients.* 2020;12(12):3831.

107. Han F, Moughan PJ, Li J, Stroebinger N, Pang S. The Complementarity of Amino Acids in Cooked Pulse/Cereal Blends and Effects on DIAAS. *Plants (Basel).* 2021 Sep 24;10(10):1999.

108. Han F, Han F, Wang Y, et al. Digestible indispensable amino acid scores of nine cooked cereal grains. *Br J Nutr.* 2019;121(1):30-41.

109. Nosworthy MG, Neufeld J, Frohlich P, Young G, Malcolmson L, House JD. Determination of the protein quality of cooked Canadian pulses. *Food Sci Nutr.* 2017;5(4):896-903.

110. Rutherford SM, Fanning AC, Miller BJ, Moughan PJ. Protein digestibility-corrected amino acid scores and digestible indispensable amino acid scores differentially describe protein quality in growing male rats. *J Nutr.* 2015;145(2):372-379.

111. Tessier R, Calvez J, Khodorova N, Gaudichon C. Protein and amino acid digestibility of ¹⁵N Spirulina in rats. *Eur J Nutr.* 2021;60(4):2263-2269.

112. Lackey KA, Fleming SA. Brief Research Report: Estimation of the Protein Digestibility-Corrected Amino Acid Score of Defatted Walnuts. *Front Nutr.* 2021;8:702857.

113. Rafii M, Pencharz PB, Boileau K, et al. Metabolic Availability of Methionine Assessed Using Indicator Amino Acid Oxidation Method, Is Greater when Cooked Lentils and Steamed Rice Are Combined in the Diet of Healthy Young Men. *J Nutr.* 2022;152(6):1467-1475.

114. Hertzler SR, Lieblein-Boff JC, Weiler M, Allgeier C. Plant Proteins: Assessing Their Nutritional Quality and Effects on Health and Physical Function. *Nutrients*. 2020;12(12):3704.
115. van den Berg LA, Mes JJ, Mensink M, Wanders AJ. Protein quality of soy and the effect of processing: A quantitative review. *Front Nutr*. 2022;9:1004754.
116. Gardner CD, Hartle JC, Garrett RD, Offringa LC, Wasserman AS. Maximizing the intersection of human health and the health of the environment with regard to the amount and type of protein produced and consumed in the United States. *Nutr Rev*. 2019;77(4):197-215.
117. Gorissen SHM, Crombag JJR, Senden JMG, et al. Protein content and amino acid composition of commercially available plant-based protein isolates. *Amino Acids*. 2018;50(12):1685-1695.
118. Woolf PJ, Fu LL, Basu A. vProtein: identifying optimal amino acid complements from plant-based foods. *PLoS One*. 2011;6(4):e18836.
119. Rafii M, Pencharz PB, Ball RO, Tomlinson C, Elango R, Courtney-Martin G. Bioavailable Methionine Assessed Using the Indicator Amino Acid Oxidation Method Is Greater When Cooked Chickpeas and Steamed Rice Are Combined in Healthy Young Men. *J Nutr*. 2020;150(7):1834-1844.
120. Conzuelo ZR, Bez NS, Theobald S, Kopf-Bolanz KA. Protein Quality Changes of Vegan Day Menus with Different Plant Protein Source Compositions. *Nutrients*. 2022; 14(5):1088.

Apêndices

Índices de apêndices

Apêndice A: Ingestões alimentares recomendadas (DRIs/DRVs) de proteína para adultos saudáveis.....	28
Apêndice B: Métodos de determinação da digestibilidade proteica e de AA.....	29
Apêndice C: <i>Standardized Ileal Digestibility (SID)</i> ou <i>True Ileal Digestibility (TID)</i> de AAs totais para PVs cruas e processadas.....	30
Apêndice D: <i>in vitro Protein Digestibility (IVPD)</i> de PVs cruas e processadas....	31
Apêndice E: Métodos de avaliação da qualidade proteica baseados na retenção de azoto e métodos baseados no ganho de peso corporal de ratos.....	32
Apêndice F: Métodos de avaliação da qualidade proteica baseados no <i>Amino acid score (AAS)</i>	33
Apêndice G: Necessidades diárias e padrões de referência de IAAs.....	34
Apêndice H: Padrões de referência de IAAs recomendados para avaliação alimentar e para fins regulatórios.....	34
Apêndice I: Priorização da determinação das digestibilidade proposta pela FAO.....	35
Apêndice J: $DIAA_{\text{relativo}}$ e DIAAS para PVs conforme consumidas na alimentação humana.....	36

Apêndice A: Ingestões alimentares recomendadas (DRIs/DRVs) de proteína para adultos saudáveis

Órganição	EAR (g/kg/d)	RDA (g/kg/d)	Referência
IoM	0,66	0,80	IoM, 2005
EFSA	0,66	0,83	EFSA, 2012
FAO	0,66	0,83	FAO, 2007

EAR, Estimated Average Requirement; EFSA, European Food Safety Authority; FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations; IoM, Institute of Medicine; RDA, Recommended Dietary Allowance

Apêndice B: Métodos de determinação da digestibilidade proteica e de AA

Métodos para determinação da digestibilidade proteica	Princípio do método	Equação	Limitações	Referência
<i>True fecal digestibility</i> (TFD)	Estima a quantidade de N que foi absorvida pela diferença entre o N proveniente da proteína dietética (ingerido) e o N das fezes. Expressa em relação à quantidade de N ingerido.	$TFD (\%) = \frac{N \text{ ingerido} - (N_{\text{fecal}} - N_{\text{fecal end}})}{N \text{ ingerido}} \times 100$	<ul style="list-style-type: none"> Não reflete a digestibilidade específica de cada AA; Pode superestimar a digestibilidade proteica devido à degradação de compostos azotados pela microbiota do cólon Pode superestimar a biodisponibilidade de alguns AAs em alimentos processados 	Boye, 2012 FAO, 2013 Marinangeli, 2017
<i>True ileal digestibility of Crude Protein</i> (TID-CP)		$TID-CP (\%) = \frac{N \text{ ingerido} - (N_{\text{ileal}} - N_{\text{ileal end}})}{N \text{ ingerido}} \times 100$	<ul style="list-style-type: none"> Não reflete a digestibilidade específica de cada AA Pode superestimar a biodisponibilidade de alguns AAs em alimentos processados 	Bandyopadhyay, 2022
Métodos para determinação da digestibilidade de AA	Princípio do método	Equação	Limitações	Referência
<i>Apparent ileal digestibility</i> (AID _i ou AID _p)		$AID (\%) = \frac{AA \text{ ingerido} - (AA_{\text{ileal}})}{AA \text{ ingerido}} \times 100$	<ul style="list-style-type: none"> Subestima a digestibilidade dos AAs, pois não desconta as perdas endógenas de AAs pelo intestino Pode superestimar a biodisponibilidade de alguns AAs em alimentos processados Métodos naso-ileal (humanos) e T-cannula (porcos) são invasivos 	
<i>True ileal digestibility</i> (TID _i) <i>Standardized ileal digestibility</i> (SID _p)	Estima a quantidade de AAs que foi absorvida pela diferença entre a quantidade de AAs proveniente da proteína dietética (ingerido) e a AA presente na digesta ileal colhida. Expressa em relação à quantidade de AAs ingerida.	$TID_i \text{ ou } SID_p (\%) = \frac{AA \text{ ingerido} - (AA_{\text{ileal}} - AA_{\text{ileal end basal}})}{AA \text{ ingerido}} \times 100$	<ul style="list-style-type: none"> Desconta apenas as perdas endógenas basais e não as específicas, podendo subestimar a digestibilidade de fontes proteicas que contêm fibras ou ANFs Pode superestimar a biodisponibilidade de alguns AAs em alimentos processados Métodos naso-ileal (humanos) e T-cannula (porcos) são invasivos 	Bandyopadhyay, 2022 Moughan, 2012 Stein, 2007
<i>Real ileal digestibility</i> (RID _i) <i>True ileal digestibility</i> (TID _p)		$RID_i \text{ ou } TID_p (\%) = \frac{AA \text{ ingerido} - (AA_{\text{ileal end basal}} - AA_{\text{ileal end específica}})}{AA \text{ ingerido}} \times 100$	<ul style="list-style-type: none"> Pode superestimar a biodisponibilidade de alguns AAs em alimentos processados Métodos naso-ileal (humanos) e T-cannula (porcos) são invasivos 	
<i>True amino acid digestibility - Dual isotope tracer</i> (TAAD - DIT)	Estima a quantidade de AAs que foi absorvida pela presença de AAs marcados no plasma, provenientes da proteína intrinsecamente marcada ingerida.	$TAAD (DIT) (\%) = \frac{AA^{14} \text{ plasma} / AA^{14} \text{ refeição}}{AA^{14} \text{ plasma} / AA^{14} \text{ refeição}} \times \text{DIT} \times 100$	<ul style="list-style-type: none"> Caro, proteínas-teste e de referência precisam ser intrinsecamente marcadas Método indireto, a digestibilidade da proteína de referência precisa ser definida na população-alvo 	
<i>Indicator amino acid oxidation</i> (IAAO)	Estima a disponibilidade metabólica do AA ao comparar a inclinação da curva resposta à oxidação do AA1, com níveis de ingestão do IAA selecionado da proteína-teste, relativamente a dos AAs de referência	$MA (\%) = \frac{\text{inclinação da curva do } ^{14}C \text{ recuperado da proteína-teste}}{\text{inclinação da curva do } ^{14}C \text{ recuperado do AA de referência}} \times 100$	<ul style="list-style-type: none"> Fornece a biodisponibilidade metabólica de um AA por vez 	Bandyopadhyay, 2022

N, azoto; AA, aminoácidos; end, endógeno; DIT_{ref}, Digestibilidade da proteína de referência; AAI, aminoácido indicador; MA, disponibilidade metabólica H, nomenclatura utilizada para digestibilidade ileal medida em humanos; P, nomenclatura utilizada para digestibilidade ileal medida em porcos

Apêndice C: Standardized Ileal Digestibility (SID) ou True Ileal Digestibility (TID) de AAs totais para PVs cruas e processadas

Alimento-base	Cru	Processado	Tipo de produto/processo	Referências
Trigo	79,32 90,0	93,8	Pão	Cervantes-Pahm, 2014 Mathai, 2017 Hodgkinsson, 2022 Reynaud, 2020
		93,5 ^H		
		97,5	Seitan	
		95	Tofu	
		97,5	Bebida de soja	
Feijão de soja	45,5 66,7	81,2	Cozida	Kaewtapee, 2017 Yin, 2008 Reynaud, 2020 CVB, 2016 NRC, 2012 Baker & Stein, 2009 Moughan, 2005 Mathai, 2017 Cervantes-Pahm, 2010 Gaudichon, 2002
		81,7		
		83,3		
		90,4		
		88,6	Texturizada	
		90,6		
		96,8 ^H	Proteína concentrada	
		90,5		
		99,0	Proteína isolada	
		95,8		
93,8 ^H				
97,9 ^H				
91,6				
Feijão mungo	80,6	87,8	Cozido	Yin, 2008 Han, 2020
		77,8		
Grão-de-bico	82	84,2	Cozido	NRC,2012 Han, 2020
Fava	83,1 79,8	89,2	Cozido	NRC,2012 CVB, 2016 Han, 2020
Feijões	55,7	73,2	Cozido	NRC,2012 Han, 2020 Hodgkinsson, 2022
		88,3		
		77,7		
		83,1 ^H		
Ervilha	80,7 82,7 85,7	86,1	Cozida	CVB, 2016 NRC,2012 Yin, 2008 Han, 2020 Stein & Bohlke, 2007 Mathai, 2017 Reynaud, 2020 Guillin, 2022
		88,8		
		94,7	Texturizada	
		96	Proteína concentrada	
		94,2	Proteína isolada	
93,6 ^H				

Standardized Ileal Digestibility (SID) ou True Ileal Digestibility (TID) determinadas em porcos (H); True Ileal Digestibility (TID) em humanos

Apêndice D: *in vitro* Protein Digestibility (IVPD) de PVs cruas e processadas

Alimento-base	Cru	Processado	Processo
Feijão-frade	82-83	87	Demolho
		97-98	Cocção
Feijão encarnado	71-78	76-83	Demolho
		87-94	Cocção
Ervilha	78-80	84-85	Demolho
		94-96	Cocção
Grão-de-bico	84	89	Cocção

Adpatado de Katthab, 2009

Apêndice E: Métodos de avaliação da qualidade proteica baseados na retenção de azoto e métodos baseados no ganho de peso corporal de ratos

Método de avaliação da qualidade proteica	Princípio do método	Equação	Limitações	Referência
Protein efficiency ratio (PER)	Estima a qualidade proteica pela razão do ganho de peso em ratos em função da proteína ingerida pelo grupo de teste em relação ao grupo controle (proteína de referência: caseína)	$PER = \frac{\text{Ganho de peso com proteína teste}}{\text{Quantidade de proteína teste ingerida}} \div \frac{\text{Ganho de peso com proteína referência}}{\text{Quantidade de proteína referência ingerida}}$	<ul style="list-style-type: none"> Realizados com roedores em crescimento, gerando valores que não são úteis para fins de manutenção (adultos); Maiores necessidades de alguns aminoácidos em roedores em relação aos humanos; Superestimam o valor de algumas proteínas de origem animal enquanto subestimam o valor de algumas proteínas vegetais; Não possibilitam determinar valores para misturas de proteínas a partir das fontes de proteína constituintes; Não consideram o papel de outros nutrientes na dieta experimental que possivelmente contribuem para o ganho de peso do sujeito do teste 	FAO, 1991 Boys, 2012 Gilani, 2012 Marinangeli, 2017
Net protein ratio/retention (NPR)	Estima a qualidade proteica pela diferença no ganho de peso entre um grupo de proteína teste e um grupo de dieta sem proteína	$NPR = \frac{\text{Variação de peso com proteína teste} - \text{variação de peso PZD}}{\text{Quantidade de proteína teste ingerida}} \div \frac{\text{atraso de peso com proteína referência}}{\text{Quantidade de proteína referência ingerida}}$	Iguals ao PER	FAO, 1991 Boys, 2012 Gilani, 2012
Biologic value (BV)	Estima a quantidade de N que foi absorvida (retida) pela diferença entre o N proveniente da proteína dietética (ingerido) e o N das fezes e urina. Expresso em relação à quantidade de N absorvido (retido). O BV relativo era tradicionalmente expresso em relação ao BV do ovo.	$BV = \frac{N \text{ ingerido} - (N_{\text{fecal}} + N_{\text{urina}} - N_{\text{urina end}})}{N \text{ ingerido} - (N_{\text{fecal}} - N_{\text{fecal}})} \times 100$ $BV_{\text{relativo}} = \frac{BV \text{ proteína teste}}{BV \text{ ovo}} \times 100$	<ul style="list-style-type: none"> Ignora a variação na digestibilidade de um alimento; Medido quando o teor de proteína da dieta está abaixo da exigência e pode não ser apropriado quando a dieta é adequada; Os resultados de BV para o mesmo alimento variam significativamente dependendo da ingestão de N; Os resultados de BV para diferentes alimentos podem ser semelhantes com baixa ingestão de N e muito diferentes com níveis de ingestão mais elevados; Proteínas que são completamente desprovidas de um IAA ainda podem ter um BV de até 40; 	Boys, 2012
(Net protein utilization - NPU)	Estima a quantidade de N que foi absorvida (retida) pela diferença entre o N proveniente da proteína dietética (ingerido) e o N das fezes e urina. Expresso em relação à quantidade de N ingerido.	$NPU = \frac{N \text{ ingerido} - (N_{\text{fecal}} + N_{\text{urina}} - N_{\text{urina end}})}{N \text{ ingerido}} \times 100$	<ul style="list-style-type: none"> Medido quando o teor de proteína da dieta está abaixo da exigência e pode não ser apropriado quando a dieta é adequada 	Boys, 2012

Apêndice F: Métodos de avaliação da qualidade proteica baseados no *amino acid score* (AAS)

Método de avaliação da qualidade proteica	Princípio do método	Equação	Limitações	Referência
<i>Amino acid score</i> (AAS)	Estima a qualidade de uma fonte proteica pela razão entre o IAA _{lim} e o padrão de referência deste IAA	$AAS = \frac{IAA_{lim, \text{proteína teste}}}{IAA_{lim, \text{proteína referência}}}$	<ul style="list-style-type: none"> • Não considera a digestibilidade e biodisponibilidade dos IAAs (que podem ser modificados pelo processamento) 	Boye, 2012
<i>Protein digestibility corrected amino acid score</i> (PDCAAS)	Estima a qualidade de uma fonte proteica pela razão entre o IAA _{lim} e o padrão de referência deste IAA, corrigido pela TFD	$PDCAAS = \frac{IAA_{lim, \text{proteína teste}}}{IAA_{lim, \text{proteína referência}}} \times TFD(\%)$	<ul style="list-style-type: none"> • Considera um valor único de digestibilidade proteica para todos IAAs; • Utiliza TFD ao invés de TID, o que pode superestimar a digestibilidade do IAA; • Não considera a biodisponibilidade da lisina (lisina total ao invés da lisina reativa); • Valores de PDCAAS são truncados em 1, impossibilitando a classificação de fontes proteicas e a complementaridade de proteínas de menor qualidade; • TFD determinada em ratos; • Padrões de referência de IAAs são obtidos a partir das necessidades de IAAs e da EAR ao invés da RDA 	FAO, 2007 Boye, 2012 Schaafsma, 2012 Rutherford, 2015 Marinangeli, 2017
<i>Digestible indispensable amino acid score</i> (DIAAS)	Estima a qualidade de uma fonte proteica pela razão entre o IAA _{lim} e o padrão de referência deste IAA, corrigido pela digestibilidade ileal do IAA _{lim}	$DIAAS = \frac{IAA_{lim, \text{proteína teste}}}{IAA_{lim, \text{proteína referência}}} \times TID(\%)$	<ul style="list-style-type: none"> • Embora considere a lisina reativa ao invés da total, ainda não considera a biodisponibilidade de todos IAAs; • Utiliza o padrão de referência de IAAs de >3 anos para adultos, ao invés do padrão >18 anos; • Padrões de referência de IAAs são obtidos a partir das necessidades de IAAs e da EAR ao invés da RDA 	Rutherford, 2012 Milward, 2012 FAO, 2013 Wolfe, 2016 Marinangeli, 2017 Bandyopadhyay, 2022

N, azoto; AA, aminoácidos; end, endógeno; Dig_{ileal}, Digestibilidade da proteína de referência; AA_{lim}, aminoácido limitante; MA, disponibilidade metabólica; TFD, *True fecal protein digestibility*; TID, *True ileal digestibility*

Apêndice G: Necessidades diárias e padrões de referência de IAAs

Faixa etária (anos)	Necessidade protéica (g/kg/d)		Necessidades de IAAs (mg/kg/d)								
	Manutenção	Crescimento	His	Ile	Leu	Lys	SAA	AAA	Thr	Trp	Val
0,5	0,66	0,46	22	36	73	63	31	59	35	9,5	48
1 a 2	0,66	0,20	15	27	54	44	22	40	24	6	36
3 a 10	0,66	0,07	12	22	44	35	17	30	18	4,8	29
11 a 14	0,66	0,04	12	22	44	35	17	30	18	4,8	29
15 a 18	0,66	0,04	11	21	42	33	16	28	17	4,4	28
>18	0,66	0,00	10	20	39	30	15	25	15	4,0	26
			Padrões de referência de IAAs (mg/g)								
0,5			20	32	66	57	27	52	31	8,5	43
1 a 2			18	31	63	52	25	46	27	7	41
3 a 10			16	30	61	48	23	41	25	6,6	40
11 a 14			16	30	61	48	23	41	25	6,6	40
15 a 18			16	30	60	47	23	40	24	6,3	40
>18			15	30	59	45	22	38	23	6	39

Adaptado de FAO, 2013

His, Histidina; Ile, Isoleucina; Leu, Leucina; Lys, Lisina; SAA, Aminoácidos sulfurados (Metionina + Cisteína); AAA, Aminoácidos aromáticos (Fenilalanina + Tirosina); Thr, Treonina; Trp, Triptofano; Val, Valina

Apêndice H: Padrões de referência de IAAs recomendados para avaliação alimentar e para fins regulatórios

Grupo	Padrões de referência de IAAs (mg/g) para avaliação nutricional								
	His	Ile	Leu	Lys	SAA	AAA	Thr	Trp	Val
Lactentes ¹ (nascimento aos 6 meses)	21	55	96	69	33	94	44	17	55
Crianças (6 meses a 3 anos)	20	32	66	57	27	52	31	8,5	43
Crianças mais velhas, adolescentes e adultos	16	30	61	48	23	41	25	6,6	40
Padrões de referência de IAAs (mg/g) para fins regulatórios									
Fórmulas infantis ¹	21	55	96	69	33	94	44	17	55
Outros produtos alimentícios ²	20	32	66	57	27	52	31	8,5	43

Adaptado de FAO, 2013

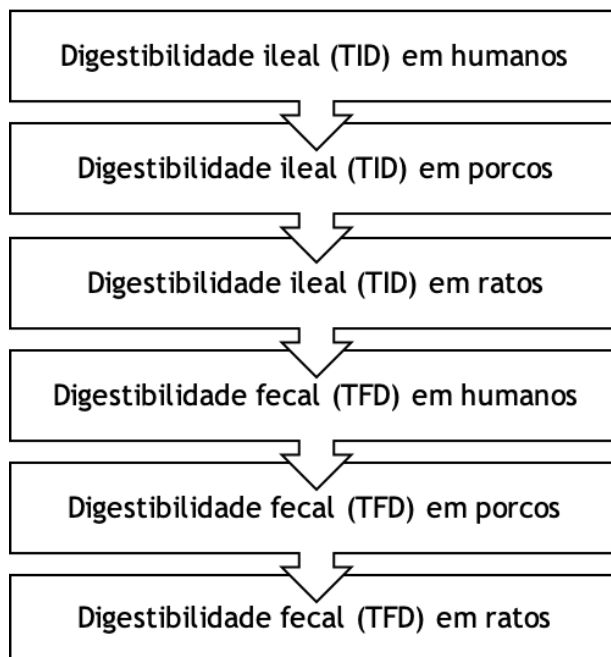
His, Histidina; Ile, Isoleucina; Leu, Leucina; Lys, Lisina; SAA, Aminoácidos sulfurados (Metionina + Cisteína); AAA, Aminoácidos aromáticos (Fenilalanina + Tirosina); Thr, Treonina; Trp, Triptofano; Val, Valina

1, baseado no perfil de aminoácidos do leite materno;

2, baseado no padrão de referência da faixa etária de 0,5 ano;

3, baseado no padrão de referência da faixa etária de 3 a 10 anos

Apêndice I: Priorização da determinação das digestibilidade proposta pela
FAO



Adaptado de FAO, 2018

Apêndice J: DIAA_{relativo} e DIAAS para PVs conforme consumidas na alimentação humana

Item	DIAA _{relativo}									DIAAS (%)	Referência	Espécie-teste
	His	Ile	Leu	Lys	SAAs (Met+Cys)	AAAs (Phe+Tyr)	Thr	Trp	Val			
Bebida de soja	1,84	1,57	1,26	1,24	1,42	2,11	1,64	4,71	1,20	120%	Reynaud, 2020	Porco
Impossible burger	1,46	1,49	1,19	1,19	1,09	2,23	1,49	2,10	1,25	109%	Fanelli, 2021	Porco
Soja (texturizada)	1,60	1,39	1,19	1,24	1,06	1,99	1,50	2,13	1,19	106%	Baker & Stein, 2009	Porco
Soja (texturizada)	1,58	1,33	1,11	1,27	1,08	1,96	1,45	2,23	1,04	104%	NRC, 2012	Porco
Proteína de soja isolada	1,54	1,41	1,17	1,26	1,02	2,13	1,37	1,96	1,16	102%	Cervantes-Pahm, 2010	Porco
Ervilha (texturizada)	1,32	1,20	1,14	1,52	1,02	1,83	1,34	1,10	1,01	101%	Stein & Bohlke, 2007	Porco
Proteína de soja isolada	1,67	1,48	1,28	1,31	1,00	2,23	1,46	2,24	1,15	100%	Mathai, 2017	Porco
Tofu	1,86	1,63	1,38	1,30	0,99	2,27	1,63	4,38	1,26	99%	Reynaud, 2020	Porco
Feijão Mungo (cozido)	1,40	1,05	1,10	1,20	1,01	1,62	1,03	1,24	0,95	95%	Han, 2020	Porco
Pistachio (cru)	1,15	1,17	0,93	0,91	1,18	1,75	1,04	1,92	1,20	91%	Bailey, 2020	Porco
Ervilha (cozida)	1,47	1,08	1,10	1,30	1,20	1,13	1,22	1,18	0,90	90%	Han, 2020	Porco
Fava (cozida)	1,52	1,07	1,57	1,15	0,92	1,12	1,22	0,96	0,89	89%	Han, 2020	Porco
Beyond burger	1,47	1,47	1,27	1,39	0,85	2,32	1,40	1,45	1,26	85%	Fanelli, 2021	Porco
Feijão Preto (Cozido)	1,57	1,19	1,12	1,32	0,82	1,78	1,49	1,52	1,10	82%	Hodgkinson, 2022	Humano
Feijão Preto (Cozido)	1,38	1,15	1,08	1,24	0,80	1,74	1,32	1,45	1,01	80%	Hodgkinson, 2022	Porco
Feijão Adzuki (cozido)	1,68	0,88	1,36	1,02	0,79	1,07	0,98	1,08	0,82	79%	Han, 2020	Porco
Feijão-guandu (Pigeon peas) (cozido)	2,55	1,54	1,40	1,86	0,78	2,55	1,65	1,36	1,37	78%	Hodgkinson, 2022	Porco
Proteína de ervilha concentrada	1,65	1,27	1,15	1,59	0,74	1,61	1,39	1,28	1,09	74%	Mathai, 2017	Porco
Feijão Encarnado (Kidney) (cozido)	1,27	1,08	1,12	1,18	0,73	1,44	1,26	1,22	0,97	73%	Han, 2020	Porco
Grão-de-bico (cozido)	1,24	0,93	1,37	1,00	1,38	1,10	1,01	1,26	0,73	73%	Han, 2020	Porco
Aveia em flocos finos	1,25	1,08	1,07	0,71	1,80	1,99	1,14	1,54	1,10	71%	Fanelli, 2021	Porco
Linhaça (moída)	0,98	1,04	0,76	0,61	1,44	1,38	1,11	1,99	0,90	61%	NRC, 2012	Porco
Pão de trigo	1,47	1,12	1,05	0,51	1,43	1,80	1,34	1,52	1,07	51%	CVB, 2016	Porco
Pão de trigo	1,49	1,11	1,05	0,50	1,42	1,85	1,43	1,42	1,01	50%	Hodgkinson, 2022	Humano
Pão de trigo	1,52	1,13	1,07	0,47	1,45	1,90	1,33	1,58	1,10	47%	Hodgkinson, 2022	Porco
Seitan	1,54	1,25	1,21	0,30	1,79	2,05	1,00	4,54	1,01	30%	Reynaud, 2020	Porco
Millet (cozido)	0,83	1,13	2,80	0,23	2,59	1,21	1,27	2,28	0,96	23%	Han, 2021	Porco
Cereais de milho (Kellogg's)	1,68	1,12	2,58	0,21	1,57	2,57	1,33	0,78	1,16	21%	Fanelli, 2021	Porco

DIAA_{relativo}, quantidade do aminoácido essencial corrigido pela sua digestibilidade ileal (SID/TID) em relação ao padrão de referência para adultos (>18 anos)

DIAAS, menor valor do DIAA_{relativo}

