

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
FACULDADE DE NUTRIÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM NUTRIÇÃO



**DISPONIBILIDADE DO FERRO DA ALIMENTAÇÃO ESCOLAR DOS
CENTROS MUNICIPAIS DE EDUCAÇÃO INFANTIL DE MACEIÓ-AL**

AMANDA DE ARAUJO LIMA

Maceió

2021

AMANDA DE ARAUJO LIMA

**DISPONIBILIDADE DO FERRO DA ALIMENTAÇÃO ESCOLAR DOS
CENTROS MUNICIPAIS DE EDUCAÇÃO INFANTIL DE MACEIÓ-AL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Nutrição da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Nutrição Humana.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Terezinha da Rocha Ataíde

Faculdade de Nutrição

Universidade Federal de Alagoas

Coorientador: Prof. Dr. Gabriel Soares Bádue

Faculdade de Nutrição

Universidade Federal de Alagoas

Maceió

2021

Catálogo na Fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecário: Marcelino de Carvalho Freitas Neto – CRB-4 – 1767

L732d Lima, Amanda de Araujo.

Disponibilidade do ferro da alimentação escolar dos centros municipais de educação infantil de Maceió-AL / Amanda de Araujo Lima. – Maceió, 2021.

66 f. : il.

Orientadora: Terezinha da Rocha Ataíde.

Coorientador: Gabriel Soares Bádue.

Dissertação (Mestrado em Nutrição) – Universidade Federal de Alagoas. Faculdade de Nutrição. Programa de Pós-Graduação em Nutrição. Maceió, 2021.

Bibliografia: f. 59-66.

1. Ferro heme. 2. Ferro não heme. 3. Ferro na dieta. 4. Anemia ferropriva. 5. Algoritmos. I. Título.

CDU: 612.392.4

RESUMO GERAL

LIMA, A. A. **Disponibilidade do ferro da alimentação escolar dos Centros Municipais de Educação Infantil de Maceió-AL**. 2021. 66 f. Dissertação (Mestrado em Nutrição) – Programa de Pós-Graduação em Nutrição, Faculdade de Nutrição, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2021.

A anemia ferropriva continua sendo um problema de saúde pública em crianças menores de cinco anos, mulheres em idade fértil e gestantes, cujas consequências podem repercutir ao longo dos anos. Com isso, a presente dissertação objetivou realizar uma revisão narrativa acerca dos algoritmos e modelos qualitativos disponíveis na literatura para estimar a disponibilidade do ferro dietético, ou seja, a quantidade de ferro absorvível, e avaliar a disponibilidade do ferro da alimentação escolar dos Centros Municipais de Educação Infantil (CMEI), de Maceió-AL. Este trabalho de dissertação consistiu em três etapas, a saber: 1) revisão narrativa acerca dos algoritmos e modelos qualitativos disponíveis na literatura para estimar o ferro disponível; 2) seleção dos algoritmos a serem utilizados na segunda etapa da dissertação; 3) avaliação da disponibilidade do ferro da alimentação escolar dos CMEI de Maceió-AL. Foram encontrados 18 algoritmos e 2 modelos qualitativos para estimar a disponibilidade do ferro, ao longo de 39 anos, entre 1978 e 2017. Os algoritmos selecionados foram: Monsen e Balintfy (1982), Singer et al. (1982), Du et al. (2000) e Rickard et al. (2009). As estimativas da disponibilidade do ferro da alimentação escolar, obtidas em cada um dos quatro algoritmos, foram expressas como média e erro padrão médio. Realizaram-se análise de correlação entre as estimativas, seguida do teste de análise com medidas repetidas (ANOVA) para comparar as estimativas, e do teste de Bland-Altman para verificar a concordância dos resultados. Também foi realizada análise de correlação entre os constituintes da dieta para avaliar o cardápio proposto. As estimativas de ferro absorvível variaram entre 0,23 e 0,44 mg/dia, e a estimativa de eficiência de absorção variou entre 4,8% e 9,7%. Ao comparar as estimativas com as recomendações nutricionais, constatou-se que, embora a quantidade de ferro total tenha aparentemente atendido às recomendações de ferro das crianças assistidas pelos CMEI, na grande maioria dos dias analisados, a quantidade de ferro absorvível não atendeu às recomendações nutricionais adotadas pelo Programa Nacional de Alimentação Escolar (PNAE). Com base no teste de Bland-Altman, verificou-se que o par de algoritmos de Monsen e Balintfy (1982) e Rickard et al. (2009) apresentaram a maior concordância entre si. Os resultados do presente estudo, associados à facilidade de sua aplicação, permitem recomendar o algoritmo de Monsen e Balintfy (1982) como o de escolha, no contexto aqui investigado. Já a análise de correlação entre os constituintes das refeições demonstrou que tecido animal (TA) e ferro não heme (FNH) apresentaram correlação positiva moderada ($r = 0,42$; $p < 0,05$), enquanto que TA e cálcio ($r = -0,54$) e cálcio e ácido fítico ($r = -0,46$) apresentaram correlação negativa moderada ($p < 0,05$). Conclui-se que a quantidade de ferro disponível na alimentação escolar estimada neste estudo não atende, na grande maioria dos dias, às recomendações nutricionais adotadas pelo PNAE. Além disso, a análise dos constituintes do cardápio confirmou a necessidade de adotar estratégias para aumentar a disponibilidade do ferro na alimentação escolar, como associar o consumo de FNH e ácido ascórbico e reduzir a presença de fatores inibidores, principalmente em refeições com maiores quantidades de ferro.

Palavras-chave: Ferro heme. Ferro não heme. Disponibilidade de ferro dietético. Anemia ferropriva. Algoritmos.

ABSTRACT

LIMA, A. A. **Availability of iron for school meals at the Municipal Centers for Children's Education in Maceió-AL**. 2021. 66 f. Dissertation (Masters in Nutrition) – Postgraduate Program in Nutrition, College of Nutrition, Federal University of Alagoas, Maceió, 2021

Iron deficiency anemia remains a public health problem in children under the age of five, women of childbearing age and pregnant women, whose consequences can reverberate over the years. Thus, this dissertation aimed to carry out a narrative review of the algorithms and qualitative models available in the literature to estimate the availability of dietary iron, that is, the amount of absorbable iron, and to assess the availability of iron in school meals at the Municipal Centers for Child Education-MCCE, from Maceió-AL. This dissertation consisted of three stages, namely: 1) narrative review of the algorithms and qualitative models available in the literature to estimate available iron; 2) selection of algorithms to be used in the second stage of the dissertation; 3) evaluation of the availability of iron in the school meals of the CMEI in Maceió-AL. Eighteen algorithms and 2 qualitative models were found to estimate iron availability, over 39 years, between 1978 and 2017. The selected algorithms were: Monsen and Balintfy (1982), Singer et al. (1982), Du et al. (2000) and Rickard et al. (2009). Estimates of the availability of iron in school meals, obtained in each of the four algorithms, were expressed as mean and mean standard error. Correlation analysis was performed between the estimates, followed by the analysis test with repeated measures (ANOVA) to compare the estimates, and the Bland-Altman test to verify the agreement of the results. Correlation analysis between diet constituents was also performed to evaluate the proposed menu. Absorbable iron estimates ranged from 0.23 to 0.44 mg/day, and the estimated absorption efficiency ranged from 4.8% to 9.7%. When comparing the estimates with the nutritional recommendations, it was found that, although the amount of total iron apparently met the iron recommendations of the children assisted by the MCCE, on the vast majority of the days analyzed, the amount of absorbable iron did not meet the nutritional recommendations adopted by the National School Feeding Program (NSFP). Based on the Bland-Altman test, it was found that the pair of algorithms by Monsen and Balintfy (1982) and Rickard et al. (2009) showed the greatest agreement with each other. The results of the present study, associated with the ease of its application, allow us to recommend the algorithm of Monsen and Balintfy (1982) as the one of choice, in the context investigated here. The correlation analysis between the constituents of the meals showed that animal tissue (AT) and non-heme iron (NHI) showed a moderate positive correlation ($r = 0.42$; $p < 0.05$), while AT and calcium ($r = -0.54$) and calcium and phytic acid ($r = -0.46$) showed a moderate negative correlation ($p < 0.05$). It is concluded that the amount of iron available in school meals estimated in this study does not meet, on most days, the nutritional recommendations adopted by the NSFP. In addition, the analysis of the menu's constituents confirmed the need to adopt strategies to increase the availability of iron in school meals, such as associating the consumption of NHI and ascorbic acid and reducing the presence of inhibitory factors, especially in meals with higher amounts of iron.

Keywords: Heme iron. Iron not heme. Availability of dietary iron. Iron deficiency anemia. Algorithms.

LISTA DE FIGURAS

	Capítulo de revisão	Página
Figura 1	Percentual de absorção de ferro dietético estimado para valores de ferritina sérica para homens e mulheres em pré e pós menopausa.	37
	Artigo de resultados	
Figura 1	Correlações entre as estimativas de ferro absorvível realizadas através dos algoritmos indicados em cada gráfico, juntamente com a equação de regressão e o coeficiente de correlação de Pearson ($n = 22$).	54
Figura 2	Representação gráfica da concordância entre as estimativas da disponibilidade do ferro dietético obtidas pelos algoritmos indicados.	56

LISTA DE QUADROS E TABELAS

	Capítulo de revisão	Página
Quadro 1	Algoritmos e modelos encontrados, e variáveis necessárias à aplicação.	13
Quadro 2	Variáveis avaliadas para estimar a disponibilidade de ferro.	15
Quadro 3	Percentual de biodisponibilidade de ferro não heme para indivíduos com 500 mg de reserva corporal de ferro.	17
Quadro 4	Variáveis para classificar a disponibilidade de ferro de uma refeição	18
Quadro 5	Classificação da dieta e percentual de absorção de ferro.	19
Quadro 6	Pontuação para o cálculo da biodisponibilidade de ferro não heme segundo as características da refeição.	20
Quadro 7	Percentual estimado de disponibilidade de ferro não heme.	21
Quadro 8	Biodisponibilidade de ferro não heme com base no conteúdo de carnes, peixes ou aves e ácido ascórbico.	23
Quadro 9	Fatores que influenciam a disponibilidade de ferro não heme e suas funções.	26
Quadro 10	Equações para estimar o ferro biodisponível.	29
Quadro 11	Estimativa da absorção de ferro dietético para valores selecionados de ferritina sérica em homens e mulheres.	36
	Artigo de resultados	
Quadro 1	Percentual de biodisponibilidade de ferro não heme para indivíduos com 500 mg de reserva corporal de ferro.	46
Quadro 2	Variáveis para classificar a disponibilidade de ferro de uma refeição.	47
Tabela 1	Correlação entre os constituintes presentes nas refeições.	51
Tabela 2	Estimativas de ferro absorvível e estimativa de eficiência de absorção de ferro.	52
Tabela 3	Quantitativo de dias de atendimento às recomendações de ferro absorvível para alimentação escolar segundo as estimativas dos algoritmos.	52
Tabela 4	Avaliação da concordância entre as estimativas da disponibilidade do ferro dietético obtidas pelos algoritmos indicados.	55

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AA	Ácido ascórbico
Ac	Absorção corrigida
AC	Ácido cítrico
ADF	Anemia por deficiência de ferro
AF	Ácido fítico
ANOVA	Análise de variância com medidas repetidas
AT	Ácido tânico
Ca	Cálcio
CPA	Carnes, peixes e aves
CI	Cereal integral
CMEI	Centros Municipais de Educação Infantil
D	Du et al. (2000)
DP	Desvio-padrão
EAR	<i>Estimated Average Requirement</i> (Requerimentos Médios Estimados)
EDTA	Ácido etilenodiaminotetracético
FAO	Food and Agriculture Organization (Organização para Alimentos e Agricultura)
FC	Fosfato de cálcio
FE	Fatores estimuladores
FeBIO	Ferro biodisponível
FeCPA	Ferro de carnes, peixes e aves
FH	Ferro heme
FI	Fatores inibidores
FL	Feijão e lentilhas
FNDE	Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação
FNH	Ferro não heme
Fo	Ferritina sérica observada
Fr	Ferritina sérica de referência
FS	Ferritina sérica
IC	Intervalo de confiança
IOM	<i>Institute of Medicine</i> (Instituto de Medicina)
IP	Fosfatos de inositol
IP1	Monofosfato de inositol
IP2	Difosfato de inositol
IP3	Trifosfato de inositol
IP5	pentafosfato de inositol
IP6	hexafosfato de inositol
L	Laticínios
LC	Limites de concordância
LI	Limite inferior

LS	Limite superior
MB	Monsen e Balintfy (1982)
MEC	Ministério da Educação
N	Nozes
O	Ovos
OMS	Organização Mundial de Saúde
PNAE	Programa Nacional de Alimentação Escolar
PNPS	Programa Nacional de Suplementação de Ferro
Q	Queijos
R	Rickard et al. (2009)
RL	Regressão linear
S	Singer et al. (1982)
So	Soja
SEMED	Secretaria Municipal de Educação
TA	Tecido animal
TC	Termo de correção
WHO	<i>World Health Organization</i> (Organização Mundial de Saúde)
Σ FE	Somatório de fatores estimuladores
($\bar{x}$)	Média

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL.....	9
2. CAPÍTULO DE REVISÃO: APLICABILIDADE E LIMITAÇÕES DOS ALGORITMOS DE AVALIAÇÃO DA BIODISPONIBILIDADE DO FERRO DIETÉTICO	11
3. ARTIGO DE RESULTADOS: ESTIMATIVA DA DISPONIBILIDADE DO FERRO DA ALIMENTAÇÃO ESCOLAR DE UMA CAPITAL DO NORDESTE BRASILEIRO	39
REFERÊNCIAS.....	63

INTRODUÇÃO GERAL

A anemia ferropriva continua sendo um problema de saúde pública em crianças menores de cinco anos, mulheres em idade fértil e gestantes, os grupos de risco para o agravo, cujas consequências, como baixo peso ao nascer, prematuridade, aumento da mortalidade perinatal e neonatal, atraso no desenvolvimento cognitivo, dificuldade na capacidade de aprendizagem, fadiga e comprometimento do sistema imune, dentre outras, podem repercutir ao longo dos anos (LOPEZ et al., 2016; SOCIEDADE BRASILEIRA DE PEDIATRIA, 2018; SILVEIRA et al., 2020).

A avaliação do consumo alimentar possibilita determinar o nível de exposição de indivíduos ou grupos à deficiência de nutrientes ou a outros componentes da dieta. Neste âmbito, a avaliação do consumo de ferro merece destaque, pois a insegurança alimentar e nutricional tem sido associada à ocorrência de anemia ferropriva em crianças brasileiras menores de cinco anos (ANDRÉ et al., 2018; FERREIRA; BARBOSA; VASCONCELOS, 2019).

Diversos algoritmos foram criados desde o ano de 1978 com o intuito de estimar a disponibilidade do ferro da alimentação, ou seja, a quantidade de ferro absorvível, considerando fatores estimuladores e/ou inibidores da sua absorção. O emprego destes métodos é uma ferramenta útil para a avaliação da qualidade de dietas. Apesar de pouco utilizados, os algoritmos, em sua grande maioria, são de fácil aplicação e podem contribuir para a prática clínica na elaboração de dietas e na avaliação do consumo (MONSEN et al., 1978; REDDY, 2005; COLLINGS et al., 2013; DE CARLI et al., 2018).

Elaborada neste contexto, a presente dissertação está estruturada em dois artigos. O primeiro trata de uma revisão narrativa acerca das ferramentas disponíveis na literatura para a estimativa da disponibilidade do ferro dietético, que, além de ter subsidiado a seleção dos algoritmos utilizados na segunda etapa do estudo, fornece uma compilação de fácil consulta de 18 propostas de algoritmos e dois modelos qualitativos, para os interessados no tema.

A partir deste compilado, pode-se conhecer cada ferramenta elaborada ao longo de 39 anos, entre 1978 e 2017, percebendo-se os pontos positivos e negativos de cada proposta. Ademais, esta revisão possibilita ao leitor escolher o método mais próximo da realidade que se pretende estudar ou da população que se almeja avaliar, segundo as variáveis aplicadas em cada algoritmo ou modelo.

Um exemplo particularmente recomendável para esta avaliação é a alimentação escolar, visto que é destinada a um dos grupos de risco para o desenvolvimento de anemia ferropriva. O

Programa Nacional de Alimentação Escolar (PNAE) preconiza o atendimento às recomendações nutricionais de minerais, a exemplo do ferro, de modo que 70% das recomendações sejam atendidas para as crianças que permanecem na instituição escolar em tempo integral (BRASIL, 2020). Vale destacar, mais uma vez, a utilidade da estimativa da disponibilidade de ferro, dado que a quantidade de ferro total da dieta, mesmo quando aparentemente suficiente, pode não garantir que a quantidade de ferro absorvível atenda às necessidades nutricionais de indivíduos ou grupos.

Nesta direção, encontra-se o artigo de resultados, que buscou avaliar a disponibilidade do ferro da alimentação escolar de Centros Municipais de Educação Infantil-CMEI, em Maceió-AL, uma capital do nordeste brasileiro, a partir da aplicação de quatro algoritmos, em um cardápio mensal padrão. Das 20 propostas encontradas na revisão da literatura, foram selecionados os algoritmos que mais se adequaram ao presente estudo: Monsen e Balintfy (1982), Singer et al. (1982), Du et al. (2000) e Rickard et al. (2009), diante das variáveis utilizadas pelos métodos e por não exigirem parâmetros bioquímicos para a sua aplicação.

Com base nos resultados alcançados, pôde-se observar que, embora a quantidade de ferro total tenha aparentemente atendido às recomendações de ferro das crianças assistidas pelos CMEI, na grande maioria dos dias analisados, a quantidade de ferro absorvível não atendeu às recomendações nutricionais adotadas pelo PNAE. Este fato reforça a necessidade de estimar a disponibilidade do ferro dietético. Adicionalmente, os resultados do presente estudo, associados à facilidade de sua aplicação, permitem recomendar o algoritmo de Monsen e Balintfy (1982) como o de escolha, no contexto aqui estudado. Por fim, a partir da análise de correlação entre os constituintes do cardápio de interesse para a presente discussão, foi possível realizar uma avaliação panorâmica do cardápio analisado, com a identificação dos pontos que precisam de ajustes e maior atenção pelo corpo de nutricionistas responsável pela sua elaboração.

Capítulo de Revisão:

LIMA. A. A. Aplicabilidade e limitações dos algoritmos de avaliação da biodisponibilidade do ferro dietético.

INTRODUÇÃO

O estudo da influência da disponibilidade e da biodisponibilidade do ferro alimentar nos parâmetros bioquímicos que refletem o estado nutricional deste mineral tem crescido nos últimos anos (ABIZARI et al., 2014; ATHE; RAO; NAIR, 2013; SILVA NETO et al., 2018), com destaque para a avaliação nos grupos mais susceptíveis a sua carência, como crianças, mulheres em idade fértil e gestantes (OLIVEIRA et al., 2014; VIEIRA et al., 2017; SILVA et al., 2018). Por disponibilidade do ferro dietético entende-se a quantidade de ferro alimentar disponível para absorção intestinal. A biodisponibilidade, por sua vez, pressupõe a efetiva absorção do mineral e a subsequente utilização em diversas funções orgânicas (FAIRWEATHER-TAIT; HURRELL, 1996). No entanto, os dois termos são frequentemente usados como sinônimos, e dessa forma serão tratados no presente texto.

A biodisponibilidade do ferro dietético pode ser estimada por meio da utilização de algoritmos, que levam em consideração o tipo de ferro presente nos alimentos, ferro heme (FH) e ferro não heme (FNH), o seu potencial de absorção e os fatores alimentares que podem influenciar na sua biodisponibilidade. As principais diferenças entre os algoritmos disponíveis na literatura estão relacionadas à utilização dos fatores que influenciam na biodisponibilidade do ferro, a forma de avaliação do consumo alimentar, refeições únicas ou dietas completas, e a utilização de parâmetros bioquímicos (HALLBERG; HULTHEN, 2000; REDDY; HURRELL; COOK, 2000; ARMAH et al., 2013). Em relação à avaliação dietética, os algoritmos baseados em refeições unitárias avaliam o ferro biodisponível separadamente em cada refeição (MONSEN et al., 1978; MONSEN; BALINTFY, 1982; SINGER et al., 1982; COOK; DASSENKO; LYNCH, 1991; HALLBERG; HULTHEN, 2000; REDDY; HURRELL; COOK, 2000; RICKARD et al., 2009), e os que são baseados em dietas completas avaliam o conjunto de todos os alimentos consumidos durante o dia, sem separar as refeições (ARMAH et al., 2013; COLLINGS et al., 2013).

Assim, devido à variabilidade entre os algoritmos disponíveis na literatura, a presente revisão buscou discutir as particularidades de cada um deles, destacando os pontos fortes e as limitações de sua aplicabilidade, com o intuito de conhecer as diferentes propostas e facilitar o processo de escolha do método a ser utilizado na estimativa do ferro disponível, em diferentes contextos.

Evolução das propostas de algoritmos para avaliar a biodisponibilidade do ferro

Foram reunidas 18 propostas de algoritmos e dois modelos qualitativos para estimar o ferro disponível/biodisponível na alimentação (Quadro 1). Houve um período de 39 anos (1978-2017) entre o primeiro e o último algoritmo publicado.

Quadro 1– Algoritmos e modelos encontrados, e variáveis necessárias à aplicação

Algoritmo/ Modelo	Variáveis aplicadas				
	FE	FI	Outro	RU	RC
Monsen et al. (1978)	X			X	X
Monsen e Balintfy (1982)	X			X	X
Singer et al. (1982)	X	X		X	X
FAO/WHO (1988)	X	X			X
Cook, Dassenko e Lynch (1991)	X	X		X	X
Murphy, Beaton e Calloway (1992)	X	X		X	
Anand e Seshadri (1995)	X	X		X	
Tseng et al. (1997)	X	X		X	
Du et al. (2000)	X	X			X
Hallberg e Hulthén (2000)	X	X		X	X
Reddy, Hurrell e Cook (2000)	X	X		X	
Bhargava, Bouis e Scrimshaw (2001)	X	X		X	
Conway et al. (2006)			Curvas séricas de ferro	X	
Chiplonkar e Agte (2006)	X	X		X	
Conway, Powell e Geissler (2007)	X	X		X	
Rickard et al. (2009)	X	X		X	X
Armah et al. (2013)	X	X		X	X
Collings et al. (2013)	X	X			X
Dainty et al. (2014)			Ingestão habitual de ferro		X
Fairweather-Tait et al. (2017)			Ingestão habitual de ferro e ferritina sérica		X

FE: Fatores estimuladores; FI: fatores inibidores; RU: refeições únicas; RC: refeições completas.

Todos os artigos estavam na língua inglesa. Dentre as particularidades observadas, somente dois consideram apenas os fatores estimuladores da disponibilidade de ferro, 15 utilizam fatores estimuladores e inibidores, um avalia a partir de curvas séricas de ferro, outro considera apenas a ingestão habitual de ferro e o último utiliza ingestão habitual de ferro e

concentração de ferritina sérica. Já em relação à forma de avaliação do consumo alimentar, cinco são utilizados para dietas completas, nove para refeições únicas e seis podem ser aplicados das duas formas.

Algoritmo proposto por Monsen et al. (1978)

Este algoritmo propõe uma estimativa do ferro absorvível de refeições únicas, avaliando cada refeição, ou lanche, separadamente. Apesar disso, também é possível avaliar a dieta completa, por meio da soma das estimativas de ferro absorvível de cada refeição.

As variáveis utilizadas para o cálculo do ferro absorvível neste método são: quantidade total de ferro da refeição, FH, FNH, ácido ascórbico (AA), quantidade, em gramas, de tecido animal (carnes, peixes ou aves - CPA) e as reservas corporais de ferro. Para esta última, apesar de serem apontados quatro níveis de reservas, 0mg, 250mg, 500mg e 1000mg, os autores recomendam o uso de 500 mg para todos os indivíduos, caso não estejam disponíveis dados bioquímicos para a estimativa das reservas corporais de ferro.

O cálculo deve ser realizado separadamente para FH e FNH. A porcentagem de absorção do FH, aqui determinada apenas pelo estoque corporal de ferro, varia entre 15 e 35% (Quadro 2). Para o cálculo da quantidade de FH, é utilizado o fator heme, que considera que este tipo de ferro corresponde a 40% do ferro total de CPA presente na refeição.

Entretanto, o FNH tem sua absorção influenciada pelo estoque corporal e pela característica da refeição. Dessa forma, verifica-se a quantidade de CPA e AA de cada refeição ou lanche para obter o percentual de absorção de FNH (Quadro 2). Após determinar o percentual de absorção dos dois tipos de ferro, para encontrar o total de ferro absorvível de uma refeição, realiza-se a soma das duas parcelas (Ferro total absorvível = FH absorvível + FNH absorvível).

Por se tratar de um método pioneiro, publicado em 1978, algumas informações ainda não estavam disponíveis na época, como a influência das substâncias inibidoras da absorção de ferro. Neste estudo, foram citados alguns fatores que interferem negativamente na absorção de ferro, como chá, fitatos e antiácidos. Contudo, ainda não estava bem estabelecido como a interação entre substâncias estimuladoras e inibidoras poderia interferir na disponibilidade do ferro na refeição; assim, os autores não utilizaram os inibidores na formulação do algoritmo.

A ausência de fatores inibidores (FI) na realização do cálculo é vista como uma limitação. Estudos posteriores, observando esta particularidade, buscaram adaptar esse algoritmo, com o intuito de aprimorar a avaliação do ferro disponível (SINGER et al., 1982;

COOK; DASSENKO; LYNCH, 1991; TSENG et al., 1997). Apesar disso, dentre os benefícios da proposta de Monsen et al. (1978), verifica-se a facilidade de aplicação do algoritmo, que prevê a utilização de dados acessíveis, bem como a proposição de valores de referência para as reservas corporais de ferro, especialmente úteis quando da impossibilidade de levantar tal informação.

Quadro 2 - Variáveis avaliadas para estimar a disponibilidade de ferro

Reservas corporais, tipos de ferro e características das refeições	Percentual de absorção			
	0	250	500	1000
Reservas de ferro corporal (mg)*				
Absorção de Ferro Heme	35%	28%	23%	15%
Absorção de Ferro Não-Heme**				
Refeição com baixa disponibilidade: Carnes, peixes ou aves < 30 g OU Ácido ascórbico < 25 mg	5%	4%	3%	2%
Refeição com média disponibilidade: Carnes, peixes ou aves (30-90 g) OU Ácido ascórbico (25-75 mg)	10%	7%	5%	3%
Refeição com alta disponibilidade: Carnes, peixes ou aves > 90 g OU Ácido ascórbico > 75 mg OU Carnes, peixes ou aves (30-90 g) + ácido ascórbico (25-75 mg)	20%	12%	8%	4%

*Reservas de ferro corporal para homens e mulheres.

**De acordo com as características das refeições.

Fonte: Adaptada de Monsen et al. (1978).

Algoritmo proposto por Monsen e Balintfy (1982)

Quatro anos após a publicação de Monsen et al. (1978), Monsen e Balintfy (1982) aprimoraram o algoritmo, com o objetivo de estimar o ferro dietético biodisponível de maneira mais refinada e computadorizada. Assim como o primeiro, este algoritmo considera as seguintes variáveis de refeições únicas ou lanches: quantidade total de ferro, FH, FNH e fatores

estimuladores (FE) (AA e conteúdo de CPA). A quantidade total de ferro biodisponível corresponde ao somatório das quantidades de FH e FNH biodisponíveis.

Assim como na proposta de Monsen et al. (1978), apesar de os cálculos de refeições ou lanches serem feitos separadamente, também pode-se calcular a biodisponibilidade de um dia inteiro. Para este fim, somam-se as quantidades de ferro biodisponível de todas as refeições presentes no dia.

Esta proposta continua sustentando o valor de 500 mg de reserva corporal de ferro, considerando a relação logarítmica entre reserva e absorção de ferro, e justifica que o estoque corporal do mineral não exerce influência sobre a análise comparativa de dietas ofertadas para um mesmo indivíduo ou grupo de indivíduos. Além disso, também se mantêm a estimativa da quantidade de FH (40% do total de ferro de CPA) e do percentual de absorção do FH de 23%, assumindo-se 500mg de reservas corporais.

O cálculo do percentual de FNH disponível é feito pelo somatório da quantidade de FE na refeição. Para isto, considera-se que 1 unidade de FE corresponde a 1 miligrama (mg) de AA ou 1 grama (g) de CPA magros cozidos, ou 1,3 g de CPA crus. Quando a soma de FE nas refeições for < 75 unidades, o percentual de absorção de FNH deve ser calculado por meio da seguinte expressão:

$$\text{Quando } \Sigma \text{ FE} < 75: \% = 3 + 8,93 \ln \left(\frac{\text{FE} + 100}{100} \right)$$

Refeições sem a presença de FE apresentam 3% de biodisponibilidade de FNH, e refeições com somatório ≥ 75 unidades de FE têm o percentual de absorção de FNH estimado em 8%. Uma forma mais prática de estimar o percentual de FNH biodisponível pelo algoritmo de Monsen e Balintfy (1982) é por meio da utilização da Quadro 3, que traz valores ≤ 75 unidades de FE e os percentuais de absorção correspondentes.

Dentre as vantagens dessa proposta, percebe-se a possibilidade de análise em diferentes valores de somatórios de unidades de FE, entre 1 e 75, utilizando-se a equação ou a tabela proposta, e a sugestão de três *softwares* (*Recipe File*, *Food File* e *Meal Evaluation*) para realizar este cálculo. No entanto, apesar de os autores trazerem maiores esclarecimentos acerca do efeito dos FI, como ácido etilenodiaminotetracético (EDTA) e ácido tânico, os mesmos não foram incluídos no cálculo da biodisponibilidade, mantendo a limitação da proposta anterior.

Quadro 3 - Percentual de biodisponibilidade de ferro não heme para indivíduos com 500 mg de reserva corporal de ferro

Σ FE	%	Σ FE	%	Σ FE	%	Σ FE	%	Σ FE	%
1	3,09	16	4,33	31	5,41	46	6,38	61	7,26
2	3,18	17	4,40	32	5,48	47	6,44	62	7,31
3	3,26	18	4,48	33	5,55	48	6,50	63	7,37
4	3,35	19	4,55	34	5,61	49	6,56	64	7,42
5	3,44	20	4,63	35	5,68	50	6,62	65	7,47
6	3,52	21	4,70	36	5,75	51	6,68	66	7,53
7	3,60	22	4,78	37	5,81	52	6,74	67	7,58
8	3,69	23	4,85	38	5,88	53	6,80	68	7,64
9	3,77	24	4,92	39	5,94	54	6,86	69	7,69
10	3,85	25	5,00	40	6,01	55	6,92	70	7,74
11	3,93	26	5,06	41	6,07	56	6,97	71	7,79
12	4,01	27	5,14	42	6,13	57	7,03	72	7,85
13	4,09	28	5,21	43	6,20	58	7,09	73	7,90
14	4,17	29	5,28	44	6,26	59	7,14	74	7,95
15	4,25	30	5,34	45	6,32	60	7,20	75	8,00

Σ FE: Somatório dos fatores estimuladores (FE) da absorção de ferro da refeição.

Fonte: Adaptado de Monsen e Balintfy (1982).

Algoritmo proposto por Singer et al. (1982)

No mesmo ano da publicação de Monsen e Balintfy (1982), Singer et al. (1982) propuseram um novo algoritmo, que foi baseado nas propostas de Monsen et al. (1978), Cook (1976 *apud* SINGER et al., 1982) e Monsen (1980 *apud* SINGER et al., 1982). Nesta proposta, o cálculo de ferro absorvível também é realizado por refeição, e os resultados de cada refeição devem ser somados quando se pretende estimar a biodisponibilidade de um dia inteiro. Neste algoritmo, além dos FE (tecido animal e vitamina C), o chá foi incluído como FI da absorção de ferro.

Outra diferença percebida neste algoritmo diz respeito à forma como as refeições são classificadas, considerando gramas de proteína de CPA ao invés de gramas de CPA (Quadro

4). Para isto, os autores consideram que a carne magra contém aproximadamente 25% de proteína (6g de proteína corresponde a aproximadamente 25g de CPA).

Quadro 4 - Variáveis para classificar a disponibilidade de ferro de uma refeição

CLASSIFICAÇÃO	CARACTERÍSTICAS DA REFEIÇÃO
Baixa disponibilidade	< 24 mg de vitamina C OU < 6 g de proteína de carnes, peixes ou aves
Média disponibilidade	25 mg < vitamina C < 75 mg OU 6 g < proteína de carnes, peixes ou aves < 18 g
Alta disponibilidade	> 75 mg de vitamina C OU > 18 g de proteína de carnes, peixes ou aves OU 25 -75 mg de vitamina C + 6 -18 g de proteína de carnes, peixes ou aves
A presença de mais de 225 g de chá na mesma refeição reduzirá uma categoria na classificação da refeição, exceto se a classificação inicial for de baixa disponibilidade.	

Fonte: Adaptado de Singer et al. (1982).

Adicionalmente, refeições com mais de 225g de chá sofrerão mudança na classificação, sendo necessário reduzir uma categoria, exceto se a mesma já tiver sido classificada como de baixa disponibilidade. Após a classificação, a quantidade de ferro ingerido é separada em FH e FNH, sendo o primeiro correspondente a 40% do total de ferro de CPA. Em seguida, realizam-se os cálculos, segundo as equações abaixo:

Refeição de baixa disponibilidade:

$$\text{Ferro absorvível} = (0.110\text{FH}) + (0.030\text{FNH})$$

Refeição de média disponibilidade:

$$\text{Ferro absorvível} = (0.122\text{FH}) + (0.050\text{FNH})$$

Refeição de alta disponibilidade:

$$\text{Ferro absorvível} = (0.14\text{FH}) + (0.080\text{FNH})$$

A ideia desta adaptação para o cálculo da biodisponibilidade traz como benefício a inclusão do chá como fator inibidor da absorção do FNH, quando consumido simultaneamente com alimentos fontes de ferro. No entanto, dois aspectos merecem destaque: os intervalos estabelecidos para classificação das refeições não incluem os seus respectivos limites, e a utilização da gramatura de proteína de CPA, ao invés da quantidade em gramas de CPA, gera um passo adicional na sua aplicação.

Modelo proposto pela *Food and Agriculture Organization/World Health Organization* (FAO/WHO) (1988)

Mesmo não se tratando de um algoritmo, decidiu-se abordar esta proposta de avaliação, pois a mesma é citada em vários estudos, e se tornou a base para a criação de algoritmos nos anos seguintes (MURPHY; BEATON; CALLOWAY, 1992; TSENG et al., 1997; DU et al., 2000). Esta análise é realizada de forma qualitativa, considerando a absorção de FH e FNH em conjunto, para indivíduos com estoque de ferro exaurido (ferritina sérica entre 10 e 12 µg/L), porém, com mecanismo de transporte de ferro, medido bioquimicamente, ainda normal. Este método avalia dietas completas. No Quadro 5 encontram-se os critérios de classificação das refeições quanto à disponibilidade de ferro adotados por este modelo.

Quadro 5 - Classificação da dieta e percentual de absorção de ferro

Classificação	Características das refeições	Absorção de ferro
Biodisponibilidade baixa	Dieta monótona, simples, contendo cereais, raízes e/ou tubérculos e pequena quantidade de CPA ou de alimentos ricos em AA. Preponderam alimentos que diminuem a absorção de ferro.	5%
Biodisponibilidade intermediária	Dietas que consistem principalmente em cereais, raízes e/ou tubérculos e quantidade insignificante de CPA e/ou AA.	10%
Biodisponibilidade alta	Dieta diversificada contendo generosas quantidades de CPA e/ou alta quantidade de AA.	15%

CPA: Carnes, peixes ou aves; AA: ácido ascórbico.

Fonte: Adaptado de FAO/WHO (1988).

Esta proposta é um modelo qualitativo, que não quantifica FH e FNH, e não determina intervalos de FE e FI para a classificação das refeições. Apesar dessa limitação e da diversidade de possibilidades de interpretações na análise das características das refeições, principalmente

entre biodisponibilidade baixa e intermediária, o modelo fornece uma orientação de fácil compreensão e aplicação acerca da disponibilidade do ferro dietético.

Algoritmo proposto por Cook, Dassenko e Lynch (1991)

Nesta proposta, foi desenvolvido um sistema de pontuação para estimar a biodisponibilidade do FNH, baseado no modelo de Monsen et al. (1978), que inclui, além dos FE (AA e CPA), chá, café, pão integral, farelo de cereal, *muffin* e ovo, ricos em FI.

Este sistema permite avaliar a biodisponibilidade de FNH tanto por refeição única quanto por dieta completa. Esta última é calculada através da biodisponibilidade média do FNH, a qual consiste na média geométrica das pontuações obtidas por refeições avaliadas separadamente.

Os autores partem do princípio que refeições sem a presença de FE e FI correspondem à refeição neutra, com pontuação padrão de 5 pontos. A presença de FE será somada a esta pontuação inicial, enquanto a de FI será subtraída da pontuação padrão (Quadro 6). Segundo este método, a pontuação varia entre 1 e 10; valores abaixo de 5 correspondem a refeição de baixa biodisponibilidade, enquanto valores acima de 5 compreendem a uma refeição de alta biodisponibilidade.

Quadro 6 - Pontuação para o cálculo da biodisponibilidade de ferro não-heme segundo as características da refeição

FATORES ESTIMULADORES*		FATORES INIBIDORES**	
Características da refeição	Pontuação	Características da refeição	Pontuação
30 – 120 g de carnes, peixes ou aves	1 ponto	120 - 240 mL de chá	1 ponto
>120 g de carnes, peixes ou aves	2 pontos	>240 mL de chá	2 pontos
25 – 75 mg de ácido ascórbico	1 ponto	≥ 180 mL de café	1 ponto
>75 mg de ácido ascórbico	2 pontos	30 g de pão integral, farelo de <i>muffin</i> ou de cereal	1 ponto
		> 40 g de ovo	1 ponto

*É realizada a soma dos pontos. ** É realizada a subtração dos pontos.

Fonte: Adaptado de Cook, Dassenko e Lynch (1991).

Dentre as vantagens deste método, nota-se a maior variedade de FI incluídos na avaliação da biodisponibilidade de FNH, bem como a sua facilidade de aplicação. No entanto, por avaliar somente o FNH, essa proposta apresenta como limitação a ausência de dados sobre a porcentagem de absorção de FH para estimar o total de ferro absorvível.

Algoritmo proposto por Murphy, Beaton e Calloway (1992)

Este algoritmo foi desenvolvido com o propósito de avaliar o ferro disponível de refeições diárias de crianças, baseando-se no modelo de Monsen et al. (1978) e nas recomendações do Comitê da FAO/WHO (1988). Esta proposta parte do princípio de que o FH apresenta disponibilidade média padrão de 25%, e corresponde a 40% do ferro total de CPA. Para o cálculo da estimativa da disponibilidade do FNH, o algoritmo utiliza FE (proteína de CPA e AA) e FI (chá), de refeições únicas.

Este método propõe uma adaptação dos valores de referência dos FE utilizados por Monsen et al. (1978), calculando a quantidade de FE para cada 1000 kcal da refeição, conforme Quadro 7. Como FI, os autores propuseram o uso do “fator chá” de 0,40, quando forem consumidos 600 mL ou mais de chá durante o dia. Quando não houver o consumo de chá, o valor atribuído será 1,00.

Quadro 7 - Percentual estimado de disponibilidade de ferro não heme

ÁCIDO ASCÓRBICO (mg/1000 kcal)	PROTEÍNA DE CPA (g/1000 kcal)		
	< 9g	≥9 a ≤27g	> 27g
< 35	5%	10%	15%
≥35 a ≤105	10%	15%	15%
> 105	15%	15%	15%

CPA: Carne, peixe ou aves.

Fonte: Adaptado de Murphy, Beaton e Calloway (1992).

O cálculo final de ferro disponível é realizado por meio da seguinte equação:

$$\text{Ferro disponível} = 0,25\text{FH} + (\text{FNH})(\text{fator disponibilidade})(\text{fator chá})$$

A adaptação trazida por este algoritmo para avaliação do ferro disponível de dietas de crianças é um diferencial, visto que, até o momento da sua publicação não havia uma proposta específica para esta fase da vida. No entanto, esta estratégia exige cálculos adicionais para ajustes ao aporte calórico das refeições em análise, por utilizar FE/1000Kcal, que constituem mais uma etapa para a sua aplicação.

Algoritmo proposto por Anand e Seshadri (1995)

Este algoritmo se propõe a estimar a quantidade de ferro biodisponível de refeições vegetarianas típicas da Índia. A ideia se baseia na estimativa da disponibilidade de ferro *in vitro* realizada por Narasinga Rao e Prabhavathi (1978), e considera os FE: AA e ácido cítrico (AC), e os FI: fosfato de cálcio (FC) e ácido tânico (AT).

O cálculo avalia refeições únicas, compostas por cereais de dietas vegetarianas. Para a elaboração do algoritmo foram consideradas correlação múltipla e análise de regressão para determinar o efeito dos FE e FI na biodisponibilidade de ferro. O cálculo é realizado por meio da seguinte equação:

$$\% \text{ Ferro biodisponível} = 4,29 + 0,0137AA + 0,0020AC - 0,0062FC - 0,0026AT$$

Onde: AA, AC, FC e AT são expressos em mg.

Esta abordagem tem como vantagens a criação de um algoritmo voltado para refeições vegetarianas e a inclusão de três novos fatores, um estimulador (AC) e dois inibidores (FC e AT) da absorção do FNH, os quais até então não haviam sido incluídos em nenhum algoritmo. Apesar disso, os autores ressaltam como limitações a não inclusão dos fitatos como FI, especialmente por se tratar de dietas vegetarianas, e o fato de o modelo ter sido baseado em estudo *in vitro* de disponibilidade de ferro.

Algoritmo proposto por Tseng et al. (1997)

Com o intuito de demonstrar a relação dos fatores dietéticos com a absorção de ferro, Tseng et al. (1997) elaboraram um algoritmo com base nos estudos de Monsen et al. (1978), Monsen e Balinfty (1982), Singer et al. (1982), FAO/WHO (1988) e Hallberg et al. (1989). Essa proposta busca estimar a biodisponibilidade do ferro através da avaliação de FE (conteúdo de CPA e AA) e FI (chá e fitato), presentes em refeições únicas.

Assim como nos estudos de Monsen et al. (1978) e Monsen e Balinfty (1982), os autores consideraram que o FH corresponde a 40% do ferro total de CPA, apresentando 23% de absorção. Além disso, manteve-se o percentual de absorção de FNH entre 3 e 8%, de acordo com a quantidade de FE, como visto na proposta de Monsen e Balinfty (1982) (Quadro 3).

Como a proposta de Monsen e Balinfty (1982) considera indivíduos com reserva de 500mg de ferro corporal, o presente modelo sugere que para valores abaixo desse patamar devem ser considerados 25% de biodisponibilidade do FH, e o percentual para o FNH deve ser aplicado com base na proposta da FAO/WHO (1988) (Quadro 8).

Quadro 8 - Biodisponibilidade de ferro não heme com base no conteúdo de carnes, peixes ou aves e ácido ascórbico

ÁCIDO ASCÓRBICO	CARNES, PEIXES OU AVES		
	< 30 g	≥30 a ≤90 g	> 90 g
< 25 mg	5%	10%	15%
≥25 a ≤75 mg	10%	20%	15%
> 75 mg	15%	15%	15%

Fonte: Adaptado de Tseng et al. (1997), segundo FAO/WHO (1988).

A avaliação dos FI é realizada em duas etapas, que ocorrem de forma independente. Primeiro é identificada a presença de chá na refeição. Nesta situação, a proposta de Singer et al. (1982) é utilizada como referência, considerando que refeições com quantidade de chá superior a 225g terão o percentual de biodisponibilidade de FNH reduzido em 40%. Com isso, o total de FNH disponível corresponderá a 60% do total encontrado após o ajuste para os FE, realizado de acordo Monsen e Balinfty (1982), ou conforme o Quadro 8, a depender da estimativa das reservas corporais de ferro.

Em seguida, verifica-se a presença de fitato na refeição. Nesta condição, a quantidade de FNH disponível será ajustada, agora para a presença de fitato, aplicando-se o percentual obtido através da equação abaixo, derivada de ajustes de dados do estudo de Hallberg, Brune e Rossander (1989), em um modelo de regressão logarítmica:

$$\log(\% \text{ biodisponibilidade de FNH}) = -0,2869 \log(\text{mg fitato na refeição}) + 0,1295$$

Este método traz uma nova proposta de ajuste para estoques corporais de ferro abaixo dos 500mg anteriormente estimados, bem como propõe uma adaptação para refeições que contêm chá, uma contribuição especialmente importante onde o consumo da bebida é mais frequente. Adicionalmente, a inclusão do fitato como FI favorece uma melhor estimativa de ferro biodisponível. Apesar deste benefício, a ausência de uma ampla base de dados da quantidade de fitato nos alimentos é uma limitação para a aplicação deste algoritmo.

Algoritmo proposto por Du et al. (2000)

Esta proposta teve como objetivo a criação de um modelo para estimar o FNH biodisponível de dietas chinesas predominantemente vegetarianas, tendo como base o modelo FAO/WHO (1988) e os algoritmos de Monsen et al. (1978), Monsen e Balinfty (1982) e Tseng et al. (1997). Para se obter o percentual de absorção de FNH são consideradas as seguintes variáveis: FE (AA, alimentos de origem animal, vegetais e frutas) e FI (arroz, feijão e chá).

Este método derivou de uma análise de regressão entre biodisponibilidade de ferro estimada e o *status* de hemoglobina, na qual os autores determinaram que, além de alimentos de origem animal e AA, as frutas e os vegetais também agem como FE. Já em relação aos FI, foi estabelecido que, além do chá, o consumo de arroz e feijão apresentou efeito inibidor na absorção de FNH.

Com base nessas informações, foi desenvolvida a seguinte equação para estimar a biodisponibilidade de FNH:

$$\% \text{ FNH biodisponível} = 1,7653 + 1,1252 \ln \left(\frac{\text{FEs}}{\text{FIs}} \right)$$

Para obter o valor dos FE, considera-se a soma de AA (mg), alimentos de origem animal (g), vegetais e frutas (g), somada a um valor constante de 1. Já o valor dos FI corresponde à soma de arroz (g), feijão (g) e chá (g; seco), também acrescida de 1, como uma constante. Os autores também consideraram que o FH corresponde a 40% do total de ferro de alimentos de origem animal, com biodisponibilidade de 23%.

Este método inclui novos FE e FI que podem influenciar na absorção de FNH, trazendo uma contribuição adicional à discussão, embora não sejam mencionadas as frutas e os vegetais considerados como FE.

Algoritmo proposto por Hallberg e Hulthén (2000)

Este algoritmo estima o percentual de absorção de FH e FNH de refeições únicas e de dieta completa. O cálculo do percentual de absorção de FNH é realizado por meio da avaliação de nove fatores estimuladores ou inibidores da absorção de ferro. Estes fatores e suas equações estão disponíveis no Quadro 9.

O percentual de absorção de FNH corresponde à multiplicação da constante 22,1, que representa o valor de absorção de FNH de uma refeição teste, que corresponde a 40% de absorção de uma dose de referência de ferro, pelos valores das equações dos fatores presentes na refeição, observados no Quadro 9. Assim, o percentual de absorção de FNH é obtido conforme a equação abaixo:

$$\% \text{ Absorção FNH} = 22,1 \text{ Fator N}$$

Onde: N representa os fatores presentes na refeição avaliada.

Para o cálculo do percentual de absorção de FH será necessária a concentração de ferritina sérica (FS), conforme a expressão abaixo. Adicionalmente, na presença de cálcio na refeição, essa absorção deverá ser ajustada para o fator cálcio (Quadro 9).

$$\text{Log absorção de FH (\%)} = 1,9897 - 0,3092 \log FS$$

Obtidos os percentuais de absorção de FNH e FH, estes valores deverão ser multiplicados pela quantidade, em mg, dos respectivos tipos de ferro presentes na refeição. Após este cálculo, a etapa seguinte consiste na soma dos dois tipos de ferro. O resultado dessa soma corresponde ao total de ferro absorvível na refeição.

A equação abaixo estima o total de ferro absorvível, em mg, em uma refeição com ajuste da absorção para dose de referência de 40%:

$$\text{Absorção de ferro (mg)} = \text{absorção ferro (algoritmo em mg)} \left(\frac{23^{0,94}}{\text{FS em } \mu\text{g/L}} \right)$$

Onde: absorção ferro (algoritmo em mg) é a absorção calculada usando o algoritmo, em mg, isto é, a um percentual de 40% de absorção da dose de referência de ferro.

Quadro 9 - Fatores que influenciam a disponibilidade de ferro não heme e suas funções

	FATOR	EQUAÇÃO	OBSERVAÇÃO
1	Fitato	Log taxa de absorção (com ou sem fitato) = $-0,30 \log (1 + \text{fitato P})$	
2	AA	Taxa de absorção = $[1 + 0,01AA + \log \text{fitato P} + 1] (0,01)(10^{0,8875 \log(AA+1)})$	Onde fitato P e AA em mg.
3	Polifenol	Log taxa de absorção = 0,4515 - 0,715 log ácido tânico em mg Taxa de absorção = $(1 + 0,01CP)(10^{0,4515 - [0,715 - 0,1825 \log(1+AA) \log(1+AT)]})$	A taxa de absorção deve ser ≤ 1 e corrigida para 1 se não for ≤ 1 .
4	AT	15 mg de AT equivale a 1 xícara de café e 30 mg de AT equivalente a 1 xícara de chá.	Para bebidas consumidas com a refeição e algumas horas após.
5	Cálcio	Taxa de absorção = 0,4081 + $\left\{ \frac{0,6059}{1} + 10^{-[2,022 - \log(Ca \text{ em mg} + 1)](2,919)} \right\}$	Para refeições com FH, este fator também deverá ser aplicado.
6	Carne	Taxa de absorção = $1 + (0,00628)(\text{quantidade de carne e peixe em g})$ Taxa de absorção (com ou sem carne) = $1 + (0,00628C) [1 + 0,006 \text{ fitato P em mg}]$	Onde C - CPA e frutos do mar em g de alimento não cozido. De acordo com o algoritmo de Monsen e Balintfy (1982): 1,3 g de peso bruto = 1,0 g de carnes, aves e peixes cozidos.
7	Proteína de soja	Taxa de absorção = $1 - 0,22 \text{ proteína de soja em g}$	Esta equação vale para até $\cong 20\text{g}$ de proteína de soja.
8	Ovo	Taxa de absorção = $1 - (0,27)(n^\circ \text{ de ovos})$	Para valores de ovos em gramas, utiliza-se a conversão: 1 ovo = 60g. Esta equação é válida apenas para até 3 ovos/ refeição.
9	Álcool	fator de 1,25	Para 1–2 copos de vinho ou 1–2 copos de bebidas alcoólicas.

AA: ácido ascórbico; AT: ácido tânico; C: carnes, peixes, aves e frutos do mar; Ca: cálcio; CP: carnes ou peixes; CPA: carnes, peixes ou aves; FH: ferro heme; fitato P: fósforo como fitato.

Fonte: Adaptado de Hallberg e Hulthén (2000).

Este método foi pioneiro na incorporação do cálcio, ovo, proteína de soja e álcool como FI, e na inclusão de um marcador bioquímico do estado nutricional em ferro. Apesar de tornar a proposta mais robusta, a inclusão do marcador bioquímico, muitas vezes não disponível, e a utilização de múltiplas equações para o cálculo do aludido fator N trazem dificuldades operacionais. Por outro lado, os autores referem que este algoritmo pode ser aplicado para avaliar adultos e crianças, além de possibilitar a avaliação de dietas completas, através da absorção média obtida pela soma da absorção de refeições individuais.

Algoritmo proposto por Reddy, Hurrell e Cook (2000)

Esta proposta estima a absorção de FNH de refeições únicas. O algoritmo foi elaborado por meio de uma análise de regressão para absorção de FNH, ajustada para a concentração de ferritina sérica de 30 µg/L. Durante a sua aplicação, deve ser levada em consideração a presença de tecido animal (TA), AA e ácido fítico (AF) na refeição, fatores que afetam a disponibilidade de FNH. O cálculo da estimativa da absorção de FNH pode ser realizado conforme a equação abaixo:

$$\text{Ln[Absorção ajustada (\%)]} = 1,9786 + 0,0123\text{TA} - 0,0034\text{AF} + 0,0065\text{AA}$$

Onde: TA (g), AF e AA (mg).

Os autores sugerem utilizar a conversão de Monsen e Balintfy (1982) para obter o valor de TA cozido: 1,3 g de TA cru corresponde a 1 g de TA cozido.

O ajuste da absorção para concentração de ferritina sérica de 30 µg/L possibilita considerar a contribuição das reservas orgânicas do mineral para a estimativa da biodisponibilidade de FNH, na avaliação do consumo e no planejamento alimentar para indivíduos ou grupos com bom estado nutricional em ferro. Apesar das vantagens da proposta, os autores relatam dificuldade para obter dados sobre o teor de AF dos alimentos, o que constitui uma limitação na aplicabilidade do presente algoritmo e de qualquer outro que considere tal composto.

Algoritmo proposto por Bhargava, Bouis e Scrimshaw (2001)

Esta proposta teve como base os algoritmos de Monsen et al. (1978), Monsen e Balintfy (1982), Tseng et al. (1997) e na equação para ajuste de fitatos de Hallberg, Brune e Rossander

(1989). Seu objetivo foi estimar o ferro biodisponível de refeições únicas, utilizando FE (CPA e AA) e FI (fitato), considerando os estoques corporais de ferro. Da mesma forma que nos algoritmos anteriores, o FH corresponde a 40% do ferro total de CPA. Além disso, antes da aplicação das equações, os FE devem ser somados e, se o resultado for superior a 75, o valor deve ser mantido em 75, conforme modelo de Monsen e Balinfty (1982). Para isto, deve ser feito o seguinte cálculo:

$$FE = (C + P + A) + AA$$

Onde: C, P e A representam as quantidades de carnes, peixes e aves, em gramas, respectivamente.

Após a verificação dos FE, deve ser realizado o cálculo do termo de correção (TC) para a quantidade de fitato da refeição, conforme a equação abaixo. Segundo os autores, se a quantidade de fitato for menor ou igual a 2,88 mg, deve-se assumir TC igual a 1, não ocorrendo efeito inibitório na biodisponibilidade de ferro.

$$TC = 10^{[-0,2869 \log(\text{fitato}) + 0,1295]}$$

Após a realização das etapas anteriores, a escolha da equação deve levar em consideração os estoques corporais de ferro, conforme modelo de Monsen et al. (1978) (Quadro 10).

Assim, este algoritmo possibilita estimar o ferro biodisponível segundo estimativas dos estoques corporais do mineral, da mesma forma que o algoritmo de Monsen et al. (1978). Contudo, na ausência de informação acerca do estoque de ferro, os autores sugerem considerar 500 mg, um nível observado em pessoas saudáveis. Além disso, foi realizado um ajuste no TC proposto por Tseng et al. (1997), sob a alegação de que havia um erro matemático na interpretação dos dados do estudo de Hallberg, Brune e Rossander (1989).

Quadro 10 – Equações para estimar o ferro biodisponível

Estoque corporais (mg)	EQUAÇÕES
0	$FeBIO = 0,140FeCPA + \left[5 + 26,804 \ln \left\{ \left(\frac{FE + 100}{100} \right) \right\} \right] (TC) \frac{[FT - 0,4 FeCPA]}{100}$
250	$FeBIO = 0,112FeCPA + \left[4 + 14,296 \ln \left\{ \left(\frac{FE + 100}{100} \right) \right\} \right] (TC) \frac{[FT - 0,4 FeCPA]}{100}$
500	$FeBIO = 0,092FeCPA + \left[3 + 8,93 \ln \left\{ \left(\frac{FE + 100}{100} \right) \right\} \right] (TC) \frac{[FT - 0,4 FeCPA]}{100}$

FeBIO: ferro biodisponível; FeCPA: ferro de carnes, peixes ou aves; FE: fatores estimuladores; TC: termo de correção de fitato; FT: ferro total.

Fonte: Bhargava, Bouis e Scrimshaw (2001).

Modelo proposto por Conway et al. (2006)

Este modelo apresenta uma nova abordagem para estimar o ferro biodisponível, através de curvas séricas de ferro. Dessa forma, para estabelecer o melhor momento para coletar as amostras de sangue, foram ofertadas refeições com e sem a adição de radioisótopos de ferro, e avaliadas as curvas séricas, com o intuito de identificar o pico de absorção.

Diante disso, os autores concluíram que três amostras de sangue colhidas nos tempos 0 (antes da refeição), 180 e 210 minutos após a refeição fornecem uma boa estimativa da biodisponibilidade de ferro dietético. No entanto, para estudos que não possam realizar três coletas de sangue, os autores sugerem duas amostras, nos tempos 0 e 200 minutos após a refeição.

Este modelo, apesar de utilizar um método de determinação da biodisponibilidade de ferro propriamente dita, com refeições radiomarcadas, fornecendo, portanto, dados mais robustos, deve ser utilizado para indivíduos com deficiência de ferro ou anemia leve, o que constitui uma limitação, uma vez que não se aplica para indivíduos com adequados estoques corporais do mineral.

Algoritmo proposto por Chiplonkar e Agte (2006)

Este algoritmo foi elaborado para avaliação da disponibilidade de FNH de refeições vegetarianas, que são consumidas em diferentes regiões da Índia e em outras partes do mundo, como na Europa, Estados Unidos, países asiáticos, América Latina e África. Do mesmo modo que em Anand e Seshadri (1995), a avaliação baseia-se em refeições únicas, no entanto, as variáveis aqui analisadas são diferentes, exceto em relação ao AA. Este modelo leva em consideração tanto FE (AA e β -caroteno), quanto FI (fosfatos de inositol, taninos e hemicelulose). O conteúdo de fosfato de inositol foi avaliado nas formas de IP2, IP3 e IP5, de acordo com o número de grupos fosfato nas moléculas.

Para o cálculo da disponibilidade de FNH, para cada 100 g de peso da refeição fresca, os valores de AA, taninos, IP1, IP2 e IP5, em miligramas, β -caroteno, em microgramas, e hemicelulose, em gramas, são considerados, conforme equação abaixo:

$$\begin{aligned}\ln(\%FNH) = & 1,340 - 0,259 \ln(IP2) + 0,188 \ln(IP3) - 0,278 \ln(IP5) + 0,0912 \ln(AA) \\ & + 0,06693 \ln(\text{taninos}) + 0,95552 \ln(\beta - \text{caroteno}) \\ & + 0,137 \ln(\text{hemicelulose})\end{aligned}$$

Este algoritmo pode ser utilizado para avaliar o risco de deficiência de ferro para a população vegetariana e lacto-vegetariana. Contudo, percebe-se maior dificuldade na sua utilização, devido à escassez de informações referentes especialmente aos FI aqui considerados. Apesar disso, os autores referem ter banco de dados com alimentos comumente consumidos pela população vegetariana do estudo, que contém informações sobre o conteúdo de 17 fatores que influenciam a disponibilidade do ferro da dieta (AA, AT, seis formas degradadas de fitatos, dois componentes de fibras e sete micronutrientes: ferro, zinco, cobre, β -caroteno, riboflavina, tiamina e ácido fólico).

Algoritmo proposto por Conway, Powell e Geissler (2007)

Este algoritmo foi desenvolvido através de uma metanálise para estimar o FNH biodisponível de refeições únicas, com base em dados de grupos alimentares. Para isto, os autores avaliaram, em 53 estudos, os alimentos que frequentemente eram considerados como modificadores da absorção de ferro, e elaboraram uma lista de alimentos e grupos alimentares, incluindo aqueles relatados em pelo menos dois estudos.

Dessa forma, foram considerados 10 grupos alimentares que influenciam na disponibilidade de FNH, são eles: fruta ou suco com alto teor de AA e tecido animal, como estimuladores, e feijão e lentilha, cereais integrais, chá, laticínios, queijo, ovos, soja e nozes, como inibidores.

Para a seleção destes grupos, inicialmente foram avaliadas 12 variáveis alimentares, a partir de um modelo de regressão para absorção de FNH. Após a exclusão das variáveis consideradas não significativas, obteve-se a seguinte equação para o cálculo da absorção de FNH:

Log(%Absorção FNH)

$$= 0,9385 + 0,0010AA + 0,0009TA - 0,0052FL - 0,0016CI - 0,0020chá - 0,0012L - 0,0041Q - 0,0032 O - 0,0062 So - 0,0087N$$

Onde: AA- fruta ou suco com alto teor de AA (g); TA- tecido animal (g); FL- feijão e lentilhas (g); CI- cereal integral (g); chá (g); L- laticínios (g); Q- queijo (g); O- ovos (g); So- soja (g) e N- nozes (g).

Outro modelo mais simples foi testado, levando em consideração a ausência ou presença de cada um dos 10 grupos alimentares. O modelo resultante não considera nozes e ovos, e a absorção é calculada conforme a equação abaixo:

Log (% Absorção FNH)

$$= 0,94170 + 0,1674 (se AA) + 0,1913 (se TA) - 0,3832 (se F ou L) - 0,3721 (se CI) - 0,4185 (se chá) - 0,3466 (se L) - 0,2080 (se Q) - 0,2911 (se S)$$

Após estimar a absorção de FNH, deve ser feito ajuste da absorção para o *status* de ferro, considerando 40% de absorção, conforme a seguinte equação:

$$\text{Absorção FNH ajustada (\%)} = (\% \text{ absorção FNH}) \left(\frac{21,7}{\text{FS em } \mu\text{g/L}} \right)^{0,94049}$$

Em seguida, com os dados da quantidade total de ferro da refeição, realiza-se o cálculo da absorção de ferro, em mg:

$$\text{Absorção ferro (mg)} = (\% \text{ absorção ferro ajustada}) \left(\frac{\text{ferro refeição, em mg}}{100} \right)$$

Percebe-se que este método é de fácil aplicação, e inclui novos componentes alimentares (queijo, laticínios e nozes), que influenciam na biodisponibilidade de ferro. Ademais, este algoritmo permite ajuste com base nos valores de ferritina e, apesar de estimar apenas a biodisponibilidade do FNH, também prevê a possibilidade de obtenção de dados da absorção do ferro total da refeição.

Algoritmo proposto por Rickard et al. (2009)

Este modelo propõe estimar o ferro absorvível, com base na avaliação de refeições únicas. As variáveis que influenciam a disponibilidade de FNH consideradas pelo algoritmo são: FE (AA, CPA) e FI (fitato, polifenóis do chá, cálcio e o teor de FNH da refeição). O total de ferro disponível para absorção corresponde ao total de FH e FNH absorvíveis.

O cálculo do percentual de FNH disponível foi derivado de uma análise de regressão múltipla. Por meio desta análise, foram identificados os FE e FI e seus níveis de interferência na absorção de FNH, que são expressos na equação abaixo. Na ausência de algum destes fatores na refeição, deve ser atribuído o valor 1.

$$\% \text{FNH disponível} = \frac{22,42 (1 + \ln(1 + 0,0056 \text{AA})) (1 + \ln(0,0008 \text{TA}))}{(1 + \ln(1 + 0,0008 \text{Ca})) (1 + \ln(1 + 0,0033 \text{Fitato})) (1 + \ln(0,0004 \text{Polifenóis})) (1 + 0,0424 \text{FNH})}$$

Onde: TA- CPA (g); AA, fitato, polifenóis, cálcio, FH e FNH (mg).

Após calcular o percentual de FNH disponível, estima-se o total de ferro disponível na refeição. Para isto, considera-se FH com disponibilidade de 25%; o cálculo é feito conforme a expressão abaixo:

$$\text{Fe disponível (mg)} = (\% \text{FNH disponível})(\text{FNH}) + 0,25 \text{FH}$$

Este foi o primeiro algoritmo a incluir a quantidade de FNH como potencial FI, pois, conforme os autores, o ferro, por si só, é inibidor da absorção de ferro. Dessa forma, à medida que o consumo de ferro aumenta, a porcentagem de ferro absorvível diminui. Além disso, o modelo possibilita avaliar o ferro disponível mesmo na ausência de dados de algum FE ou FI considerado. Ademais, por se tratar de um algoritmo bem elaborado, sua utilização é indicada para pesquisas epidemiológicas, que tratam da relação entre o ferro dietético e a saúde.

Algoritmo proposto por Armah et al. (2013)

Este algoritmo foi desenvolvido para avaliar a absorção de FNH de dietas completas, estimando a ingestão média diária de alimentos a partir de registros dietéticos de três ou mais dias. Para a utilização deste método, são avaliados os FE (AA e CPA) e FI (chá, fitato e cálcio), além da concentração de ferritina sérica e a quantidade de FNH. A construção do algoritmo foi feita a partir de modelo de regressão, que gerou a seguinte equação:

$$\begin{aligned} \text{Ln Absorção (\%)} \\ = 6,294 - 0,709 \ln(\text{FS}) + 0,119 \ln(\text{AA}) + 0,006 \ln(\text{CPA} + 0,1) \\ - 0,055 \ln(\text{chá} + 0,1) - 0,247 \ln(\text{fitato}) - 0,137 \ln(\text{Ca}) - 0,083 (\text{FNH}) \end{aligned}$$

Onde: FS ($\mu\text{g/L}$), CPA (g), chá em número de xícaras, AA, fitato, Ca e FNH (mg).

Esses valores devem corresponder à ingestão média diária em pelo menos 3 dias, e a concentração de ferritina sérica deve corresponder, preferencialmente, a cada indivíduo avaliado.

Além disso, os autores contabilizam a quantidade de chá por meio de equivalentes de chá preto, onde 2 xícaras (480 mL) de chá gelado e 1,5 xícaras (360 mL) de chá de ervas ou café equivalem a 1 xícara (240 mL) de chá preto. Os autores também indicam que 1 xícara (240 mL) equivale a um saquinho de chá preto contendo 1,9 g.

Segundo os autores, este algoritmo também é capaz de prever a absorção de ferro de refeições únicas; no entanto, os dados são mais precisos quando são avaliadas dietas completas. Outros aspectos positivos são a fácil aplicação do método e a possibilidade de utilização em dietas de diferentes populações. Adicionalmente, o uso de equivalentes de chá preto facilita a aplicação do algoritmo, em função da escassez de dados sobre o conteúdo de polifenóis em

alimentos. Por outro lado, apesar da sua importância, o emprego da variável ferritina sérica pode trazer uma considerável limitação operacional, quando este dado não estiver disponível.

Algoritmo proposto por Collings et al. (2013)

Foi proposta, por meio de uma revisão sistemática, uma nova abordagem para avaliar a absorção de ferro de dietas completas. O modelo apresenta fácil aplicabilidade e considera variáveis qualitativas, como a presença de FE (vitamina C e carne) e FI (cálcio), e quantitativa, a concentração de ferritina sérica.

Neste algoritmo são consideradas como dietas completas aquelas com dados disponíveis de, no mínimo, um dia com três refeições, ou dois dias com duas refeições. A elaboração do modelo foi realizada por meio de regressão linear, a partir da qual foi formulada a equação abaixo:

$$\text{Log[Absorção FNH \%]} = -0,73 \log[\text{ferritina em } \mu\text{g / L}] + 0,11[\text{modificador}] + 1,82$$

Segundo o modelo, o valor para o modificador é 0 para dieta autosselecionada ou padrão, -1 para dietas com FI (sem carne, alto teor de cálcio e baixo teor de vitamina C), e 1 para dietas com FE (baixo teor de cálcio e altas quantidades de vitamina C e carne). Além disso, este método considera concentrações baixas e elevadas de ferritina sérica (6 a 80 $\mu\text{g/L}$).

Apesar de a abordagem ser também para dietas completas e de incluir valor de ferritina sérica, a avaliação ocorre de maneira bem diferente do algoritmo de Armah et al. (2013), visto que a classificação da dieta, em relação aos FE e FI, ocorre de maneira qualitativa, portanto, com menor precisão, porém, de mais fácil aplicação.

Algoritmo proposto por Dainty et al. (2014)

A ideia proposta neste algoritmo se baseia na estimativa da biodisponibilidade de ferro a nível populacional, com base em duas variáveis: ingestão habitual total de ferro e concentração de ferritina sérica. Para a ingestão habitual, considera-se a avaliação de dados da ingestão diária de ferro de sete dias.

A construção do algoritmo foi feita com base nas necessidades individuais de ferro publicadas pelo *Institute of Medicine* (IOM) (IOM, 2001) para homens e mulheres em idade fértil, considerando estoques mínimos de ferro, porém, sem a presença de anemia. Esses valores

foram convertidos em necessidades de ferro absorvível, ao considerar 18% de absorção, conforme o IOM (IOM, 2001).

Em uma amostra populacional de 1347 indivíduos, foram avaliadas a ingestão habitual e a necessidade de ferro absorvível, e constatou-se o percentual de absorção por indivíduo. Com base nos valores individuais, obteve-se o valor médio de absorção. Para a população com alta prevalência de inadequação de ferro (populações com menores reservas e com requerimento de ferro biodisponível mais alto), foram subtraídos os valores de absorção encontrados acima de 100%, o que resultou na porcentagem estimada de ingestão inadequada. Dessa forma, foram estabelecidos os percentuais de absorção para a população.

Uma abordagem de probabilidade total foi realizada para prever a prevalência de ingestão de ferro suficiente para manter o equilíbrio deste mineral, através da estimativa da sua ingestão, considerando o percentual de absorção de 1 a 40%. Com isso, uma estimativa de absorção média na população foi calculada para as concentrações de ferritina sérica, combinando a prevalência observada de inadequação com a prevista pelas estimativas de absorção. Para isso, foram selecionados pontos de corte de ferritina, que correspondem a faixas de interesse para avaliações populacionais (Quadro 11). Estas faixas correspondem aos valores de 15 µg/L para indivíduos com deficiência de ferro (IOM, 2001), 30 µg/L para estimar a biodisponibilidade de FNH da refeição (REDDY et al., 2000), 45 µg/L como ferritina sérica de referência, e 60 µg/L como valor acima do qual nenhuma regulação homeostática de ferro ocorre (DAINTY et al., 2014).

Além desses valores, também é possível observar, na Quadro 11, o método de proporção, obtido conforme a equação abaixo, que ajusta a absorção segundo o valor de ferritina sérica selecionado:

$$\text{Log Ac} = \text{log Ao} + \text{log Fo} - \text{log Fr}$$

Onde: Ac- absorção corrigida; Fo- valor de ferritina observada; Fr- valor de ferritina de referência (45 µg/L).

Ao considerar o valor de ferritina sérica para homens e mulheres, calcula-se o percentual de absorção de ferro. A partir deste percentual e da ingestão habitual do mineral, obtêm-se a estimativa de ferro biodisponível. Conforme os autores, a validade deste método depende da

precisão da estimativa da distribuição das necessidades individuais de ferro e dos dados de ingestão alimentar, além de ingestão estável de ferro, ou seja, sem grandes oscilações.

Quadro 11 – Estimativa da absorção de ferro dietético para valores selecionados de ferritina sérica em homens e mulheres

Pontos de corte ferritina sérica (µg/l)¹	Mulheres - modelo de probabilidade	Homem – modelo de probabilidade	Método de proporção²
60	11%	11%	10%
45	13%	14%	13%
30	18%	16%	20%
15	31%	-	39%

¹Um ponto de corte de ferritina sérica de 15 µg/L foi usado para identificar indivíduos com deficiência de ferro (IOM, 2001); de 30 µg/L foi usado para estimar biodisponibilidade de FNH da refeição, conforme Reddy et al. (2000); 60 µg/L é o valor acima do qual nenhuma regulação homeostática de ferro ocorre.

²Biodisponibilidade estimada ajustada para o efeito dos estoques de ferro, com base na proporção 45/ ponto de corte de ferritina sérica.

Fonte: Dainty et al. (2014).

Este algoritmo traz alguns aspectos positivos, como a abordagem a nível populacional e a facilidade de aplicação pela menor necessidade de informações sobre outros componentes da refeição, como FE e FI. No entanto, o mesmo não se aplica para crianças, mulheres grávidas, lactantes ou aquelas imediatamente após o início da menopausa, devido à variabilidade das necessidades de ferro. Além disso, os autores ressaltam a importância do cuidado ao considerar os valores de ferritina sérica como indicador dos estoques corporais de ferro, pois algumas condições clínicas alteram a sua concentração, como inflamação, infecção e obesidade.

Algoritmo proposto por Fairweather-Tait et al. (2017)

Este algoritmo se propõe estimar a biodisponibilidade de ferro dietético a partir de uma ferramenta interativa. De maneira similar ao proposto por Dainty et al. (2014), a estimativa é feita segundo as variáveis ferro dietético ingerido e concentração de FS. Conforme os autores, o modelo pode ser aplicado para qualquer população adulta desde que se tenham obtidos dados representativos e de boa qualidade sobre a ingestão e o *status* de ferro.

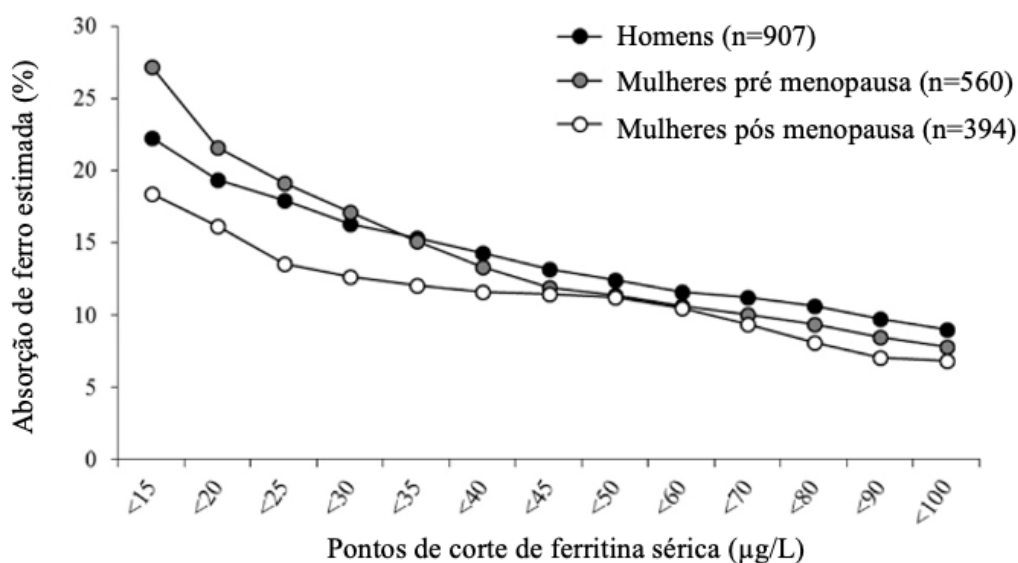
O algoritmo foi elaborado a partir da avaliação da ingestão de ferro, através de dados dietéticos oriundos de sete dias de diário alimentar, dos quais quatro são dados semi-quantitativos, em que foi realizada a pesagem dos alimentos. Além disso, também foi considerada a quantidade de ferro proveniente da ingestão de carnes.

Para a construção desta ferramenta, foi adotada uma escala de absorção do ferro ingerido entre 1 e 40%. Os requerimentos de ferro absorvível foram previstos pela distribuição da ingestão alimentar deste mineral publicada pelo IOM (IOM, 2001). Assim, os valores das necessidades de ferro foram derivados dos requerimentos de ferro absorvível, previstos pelo IOM, para cada percentil de 0,5.

Diante disso, os dados foram comparados com a estimativa de ferro absorvível para cada indivíduo em cada ponto da escala de 1 a 40%, e a média de absorção para a população foi calculada. Esses valores foram subtraídos de 100 para a obtenção da porcentagem requerida para a população que necessita de altas quantidades de ferro, ou seja, aquela com alta prevalência de inadequação da ingestão deste nutriente.

Este algoritmo prevê, ainda, a absorção de ferro dietético para cada concentração de ferritina sérica, com variação entre <15 e $100 \mu\text{g/L}$; a estimativa é feita com base na Figura 1. Para estes dados, foram excluídos indivíduos que estivessem utilizando suplemento alimentar contendo ferro em sua composição, bem como indivíduos com valores de proteína C reativa (PCR) acima de 5 mg/L , para evitar fatores que pudessem interferir na determinação do real consumo alimentar e no estoque corporal de ferro.

Figura 1 - Percentual de absorção de ferro dietético estimado para valores de ferritina sérica para homens e mulheres em pré e pós menopausa.



Fonte: Adaptado de Fairweather-Tait et al. (2017).

Como apontado anteriormente, a utilização da concentração de FS pode se constituir uma limitação deste algoritmo, visto que este dado bioquímico por vezes não se encontra disponível. No entanto, a proposta apresenta alguns diferenciais, como a elaboração de um algoritmo para população adulta, com dados específicos para sexo e estágios de vida pré e pós menopausa, bem como a exclusão de indivíduos com valores de PCR elevados, que evita possíveis vieses ao considerar os valores de FS destes indivíduos.

CONCLUSÃO

Na presente revisão, foram reunidos todos os algoritmos encontrados na literatura para a estimativa da biodisponibilidade do ferro dietético, até o momento. Dentre as propostas avaliadas, observou-se a utilização de abordagens qualitativas e quantitativas, além do emprego dos mais variados fatores que podem interferir positiva ou negativamente na biodisponibilidade do mineral. Também foi observado que, para a aplicação de um número considerável de algoritmos, a obtenção de parâmetros bioquímicos que guardam relação com o estado nutricional em ferro, notadamente com os estoques corporais, não é necessária ou primordial.

Adicionalmente, pôde-se perceber que não existe um algoritmo universal, ou seja, aquele aplicável para todos os estudos, em diferentes contextos, pois os mesmos apresentam especificidades em relação aos parâmetros considerados e, ocasionalmente, à população para a qual a sua utilização é recomendada. No entanto, dada a diversidade de propostas disponíveis na literatura especializada, a estimativa da biodisponibilidade do ferro dietético pode ser realizada, com maior ou menor precisão, até mesmo quando os estudos carecem de maior número de dados ou informações acerca dos fatores que exercem influência sobre o fenômeno.

Artigo de Resultados:

LIMA, A. A.; ATAIDE, T. R.; BÁDUE, G. S. Estimativa da disponibilidade do ferro da alimentação escolar de uma capital do nordeste brasileiro.

RESUMO

O ferro é um micronutriente essencial para a síntese de células vermelhas do sangue e transporte de oxigênio no organismo, dentre outras funções vitais. O estágio final da carência do mineral é chamado de anemia por deficiência de ferro, ou anemia ferropriva, com repercussões para a saúde humana, especialmente de grupos vulneráveis, como as crianças menores de cinco anos. O presente estudo objetivou avaliar a disponibilidade do ferro da alimentação escolar dos Centros Municipais de Educação Infantil-CMEI, de Maceió-AL, e sugerir algoritmo de estimativa da disponibilidade do ferro dietético, dentre os disponíveis na literatura, para utilização no contexto da alimentação escolar. Dividiu-se em cinco etapas: 1) seleção de algoritmos disponíveis na literatura para estimar o ferro disponível; 2) avaliação de cardápio implementado antes da Resolução nº 06-MEC/FNDE, de 08 de maio de 2020, que determina alterações nos cardápios escolares para o aumento da disponibilidade de ferro; 3) cálculo das estimativas de ferro absorvível e de eficiência de absorção de ferro do cardápio, segundo os algoritmos selecionados; 4) comparação entre as estimativas obtidas e as recomendações adotadas pelo PNAE. 5) análise de correlação entre os algoritmos e entre os constituintes da dieta, e de concordância entre as estimativas de ferro absorvível. Foram considerados 5% de significância para todos os testes. Foi realizada, ainda, análise de correlação entre os constituintes da dieta para avaliar o cardápio proposto. As estimativas obtidas com cada algoritmo foram expressas como média e erro padrão médio. Realizou-se análise de correlação entre as estimativas, seguida de uma análise de variância com medidas repetidas (ANOVA) para comparar as estimativas, e da análise de Bland-Altman para verificar a concordância dos resultados. A análise de correlação entre os constituintes das refeições demonstrou que tecido animal (TA) e ferro não heme (FNH) apresentaram correlação positiva moderada ($r = 0,42$; $p < 0,05$), enquanto que TA e cálcio ($r = -0,54$) e cálcio e ácido fítico ($r = -0,46$) apresentaram correlação negativa moderada ($p < 0,05$). As estimativas de ferro absorvível variaram entre 0,23 e 0,44 mg/dia, e o percentual de eficiência de absorção variou entre 4,8% e 9,7%. Ao comparar as estimativas com as recomendações nutricionais, constatou-se que embora a quantidade de ferro total tenha aparentemente atendido às recomendações de ferro das crianças assistidas pelos CMEI, na grande maioria dos dias analisados, a quantidade de ferro absorvível não atendeu às recomendações nutricionais adotadas pelo PNAE. Com base na análise de Bland-Altman, verificou-se que o par de algoritmos de Monsen e Balinfty (1982) e Rickard et al. (2009) apresentaram maior concordância entre si. Os resultados do presente estudo, associados à facilidade de sua aplicação, permitem recomendar o algoritmo de Monsen e Balinfty (1982) como o de escolha, no contexto aqui investigado. Conclui-se que a quantidade de ferro disponível na alimentação escolar estimada neste estudo não atende, na grande maioria dos dias, às recomendações nutricionais adotadas pelo PNAE. Além disso, a análise dos constituintes do cardápio confirmou a necessidade de adotar estratégias para aumentar a disponibilidade do ferro na alimentação escolar, como associar o consumo de FNH e ácido ascórbico e reduzir a presença de fatores inibidores, principalmente em refeições com maiores quantidades de ferro.

Palavras-chave: Ferro heme. Ferro não heme. Disponibilidade de ferro dietético. Anemia ferropriva. Algoritmos.

ABSTRACT

Iron is an essential micronutrient for red blood cell synthesis and oxygen transport in the body, among other vital functions. The final stage of mineral deficiency is called iron deficiency anemia, with repercussions for human health, especially for vulnerable groups, such as children under five years of age. This study aimed to evaluate the availability of iron in school meals at the Municipal Centers for Child Education-MCCE, in Maceió-AL and suggest the best operationalization algorithm in the context of school feeding. It was divided into five steps: 1) selection of algorithms available in the literature to estimate available iron; 2) menu evaluation implemented before Resolution 06-MEC / FNDE, of May 8, 2020, which determines changes in school menus to increase the availability of iron; 3) calculation of absorbable iron and iron absorption efficiency in the menu, according to selected algorithms; 4) comparison between references and recommendations adopted by the National School Feeding Program (NSFP); 5) analysis of correlation between algorithms and between dietary constituents, and of agreement between absorbable iron sensitization. 5% significance was considered for all tests. Correlation analysis between dietary constituents was also performed to evaluate the proposed menu. Corresponding rates with each algorithm were expressed as mean and standard error. The reference analysis between the indications was performed, followed by an analysis of variance with repeated measures (ANOVA) to compare the characteristics, and the Bland-Altman analysis to verify the agreement of the results. As for the correlation analysis between the constituents of the alterations, that animal tissue (AT) and non-heme iron (NHI) had moderate positive correlation ($r = 0.42$; $p < 0.05$), while AT and Calcium ($r = -0.54$) and Calcium and phytic acid ($r = -0.46$) moderate negative correlation ($p < 0.05$). The absorbable iron characteristics ranged between 0.23 and 0.44 mg / day, and the percentage of absorption efficiency ranged between 4.8% and 9.7%. When comparing the characteristics with the nutritional recommendations, it was found that although the amount of total iron apparently met the iron recommendations of the children assisted by the MCCE, on the vast majority of the days listed, the amount of absorbable iron did not achieve the adopted nutritional recommendations by the NSFP. Based on the Bland-Altman analysis, it was found that the pair of algorithms by Monsen and Balinfty (1982) and Rickard et al. (2009) greater agreement with each other. The results of the present study, associated with the ease of its application, allow us to recommend the algorithm of Monsen and Balinfty (1982) as the one of choice, in the context investigated here. It is concluded that the amount of iron available in school meals estimated in this study does not meet, on most days, the nutritional recommendations adopted by the NSFP. In addition, the analysis of the menu's constituents confirmed the need to adopt to increase the availability of iron in school meals, such as associating the consumption of NHI and ascorbic acid and reducing the occurrence of inhibitory factors, especially in meals with higher amounts of iron.

Keywords: Heme iron. Non-heme Iron. Availability of dietary iron. Iron deficiency anemia. Algorithms.

1. INTRODUÇÃO

A anemia carencial é uma condição clínica caracterizada por baixa concentração de hemoglobina no sangue, em consequência da carência de um ou mais nutrientes essenciais, como folato, vitamina A, vitamina B12 e ferro. Este último é um micronutriente essencial para a síntese de células vermelhas do sangue e transporte de oxigênio no organismo, sendo o estágio final de sua carência conhecido como anemia por deficiência de ferro (ADF), ou anemia ferropriva (BRASIL, 2007, 2013a).

A ADF é a mais prevalente, correspondendo a cerca de 50% dos casos de anemia no mundo, atingindo uma prevalência de 40,2% de crianças menores de 5 anos no Brasil, 42,9% no nordeste brasileiro e 27,4% em Alagoas, no ano de 2015. Conforme a classificação da Organização Mundial de Saúde (OMS), essas prevalências se enquadram em um problema de saúde pública de magnitudes moderada e severa, que correspondem a prevalências entre 20 e 39,9% e maiores de 40%, respectivamente (BRASIL, 2009; WHO, 2008, 2015; SILVEIRA et al., 2020; VIEIRA et al., 2017).

Várias são as repercussões da ADF, como: comprometimento do sistema imune, redução da capacidade cognitiva, do crescimento e desenvolvimento neuropsicomotor, diminuição da capacidade de aprendizagem em crianças escolares e aumento da mortalidade perinatal de mães e recém-nascidos. Entre os grupos de risco mais vulneráveis para o desenvolvimento de anemia, encontram-se crianças menores de dois anos, gestantes e mulheres em idade fértil (SOCIEDADE BRASILEIRA DE PEDIATRIA, 2018; WHO, 2001, 2017).

De acordo com o estudo realizado por Vieira et al. (2017), que avaliou a prevalência e a tendência temporal de anemia em crianças do nordeste brasileiro, houve um declínio na prevalência de 45,1% para 27,4%, entre os anos de 2005 e 2015; no entanto, este problema ainda se apresenta com magnitude moderada, de acordo com a classificação da OMS (WHO, 2008). Além disso, ressalta-se que houve melhoria nas condições socioeconômicas e de educação pública neste período que, combinadas ao Programa Nacional de Suplementação de Ferro (PNSF), contribuíram para o declínio da prevalência.

Estratégias têm sido elaboradas para a prevenção da anemia em crianças de seis meses até os dois anos de vida, a exemplo da alimentação complementar saudável e adequada em frequência e quantidade, com ênfase na disponibilidade de ferro, na suplementação profilática de ferro, bem como na fortificação de alimentos com micronutrientes em pó (BRASIL, 2013b; WHO, 2017). O termo disponibilidade do ferro dietético compreende a quantidade de ferro alimentar disponível para a absorção intestinal. Já a biodisponibilidade pressupõe a efetiva

absorção do mineral e a sua incorporação nos diversos compartimentos corporais (FAIRWEATHER-TAIT; HURRELL, 1996). No entanto, os dois termos são frequentemente usados como sinônimos, e dessa forma serão tratados no presente texto.

O ferro dietético se apresenta de duas formas: ferro heme (presente no grupamento heme, em carnes, peixes e aves-CPA) e ferro não heme (distribuído nas diversas fontes alimentares, inclusive em CPA), as quais exibem diferentes disponibilidades. Com isso, manejos dietéticos devem ser utilizados para aumentar a absorção deste micronutriente, notadamente do ferro não heme, através de fatores estimuladores, como o ácido ascórbico (BRASIL, 2013a), que reduz e forma um quelato solúvel com o ferro não heme. Outros fatores podem interferir negativamente na absorção deste mineral, como o cálcio, fitato e polifenóis do chá, através da formação de quelatos insolúveis ou por competição pelo mesmo sítio de absorção (FUZI et al., 2017; GIBSON; RABOY; KING, 2018; MONICA et al., 2018).

Diante da variação na disponibilidade do ferro dietético, alguns modelos foram desenvolvidos com o intuito de estimá-la. Tais modelos podem contribuir na avaliação do atendimento às necessidades nutricionais de indivíduos e grupos populacionais. As estimativas são feitas a partir da análise dos componentes da refeição, como fatores estimuladores e inibidores da absorção de ferro, além da inclusão, em alguns algoritmos, de parâmetros bioquímicos relacionados ao estado nutricional em ferro, como ferritina e ferro sérico (REDDY, 2005; COLLINGS et al., 2013).

O Programa Nacional de Alimentação Escolar (PNAE), através de ações de educação alimentar e nutricional e oferta de refeições que atendam às necessidades nutricionais dos estudantes, tem contribuído para o manejo dietético voltado ao aumento da disponibilidade de ferro. Na Resolução nº 06, publicada em 08 de maio de 2020, do Ministério da Educação (MEC)/ Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (FNDE), foi destacada a importância do atendimento às demandas de ferro da população-alvo e estabelecidas determinações acerca da oferta e do melhor aproveitamento de suas duas formas, ferro heme e não heme, na alimentação escolar (BRASIL, 2009, 2020).

No entanto, no estudo de Zuffo et al. (2016), realizado em Centros Municipais de Educação Infantil (CMEI), no município de Colombo-PR, observaram-se prevalência de anemia de 34,7% e associação positiva com menor idade materna, sexo masculino, idade inferior a 24 meses e não consumo de alimentos fontes de ferro no domicílio. Entretanto, apesar de não estar associada à anemia, foi verificado que a ingestão mediana de ferro nos CMEI encontrava-se abaixo das recomendações estabelecidas pelo PNAE.

Ademais, estudo realizado em escolas públicas da Bahia, para avaliar os fatores associados à anemia, verificou associação entre consumo alimentar inadequado de ferro biodisponível, renda inferior a um salário mínimo e ocorrência de anemia (BORGES et al., 2009). Já no estudo de Silva et al. (2018), os autores observaram associação entre alto risco de anemia e presença de mais de uma criança menor de cinco anos na mesma residência, introdução alimentar de frutas e/ou vegetais tardia, após os oito meses de idade, baixa estatura, hospitalização prévia e baixa concentração sérica de folato.

Além disso, no estudo de Carvalho et al. (2010), que objetivou diagnosticar anemia ferropriva em crianças usuárias de creches públicas de Recife-PE, os autores constataram que 92,4% tinham anemia e 58,1% anemia por deficiência de ferro. De maneira semelhante, Oliveira et al. (2014) realizaram estudo com pré-escolares matriculados em creches do Centro-Sul de Belo Horizonte e verificaram prevalência de 38,3% de anemia, a qual foi significativamente associada à baixa renda *per capita* e menor idade materna.

Assim, frente à ausência de estudos sobre a estimativa da disponibilidade de ferro da alimentação escolar em CMEI, o presente estudo objetivou conhecer essa realidade no município de Maceió-AL, através do emprego de diferentes algoritmos, bem como sugerir o algoritmo de escolha para utilização no contexto da alimentação escolar.

2. MÉTODOS

Trata-se de um estudo de avaliação da disponibilidade de ferro dos cardápios elaborados pela Secretaria Municipal de Educação (SEMED), antes da nova Resolução nº 06-MEC/FNDE, de 08 de maio de 2020 (BRASIL, 2020), para a alimentação de pré-escolares regularmente matriculados nos Centro Municipais de Educação Infantil (CMEI) do município de Maceió, Alagoas. Este estudo faz parte de um projeto maior intitulado “Efeito de uma alimentação com melhor oferta de ferro comparada a uma alimentação de rotina nas concentrações de hemoglobina em crianças na idade pré-escolar”, submetido e aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Alagoas (CAAE: 30523820.0.0000.5013; número do parecer: 4.835.130).

Este trabalho foi realizado em cinco etapas: primeiro, foram selecionados algoritmos disponíveis na literatura formulados para a estimativa da disponibilidade do ferro dietético; em seguida, realizou-se a avaliação de cardápio que havia sido implementado antes de entrar em vigor a Resolução nº 06-MEC/FNDE, de 08 de maio de 2020 (BRASIL, 2020). Posteriormente, foram calculadas as estimativas de ferro disponível pelos algoritmos selecionados, bem como

da eficiência de absorção do ferro. A etapa seguinte consistiu na comparação entre as estimativas obtidas e as recomendações de ferro preconizadas pelo PNAE. Por fim, foram aplicados testes estatísticos para verificar a correlação e a concordância entre os resultados dos algoritmos, bem como a correlação entre os constituintes das refeições que compõem o cardápio.

2.1 SELEÇÃO DOS ALGORITMOS

Foi realizada uma revisão da literatura acerca dos algoritmos publicados, sem restrição de idioma ou de tempo. As buscas foram feitas nas bases de dados PUBMED, SCIELO e LILACS, utilizando os seguintes descritores: ferro, ferro heme, ferro não heme, disponibilidade, biodisponibilidade e algoritmo. Além disso, também foram incluídos materiais impressos disponíveis sobre o tema.

Após analisar os algoritmos disponíveis, foram identificados os benefícios e as limitações de cada proposta, verificando quais se adequavam mais ao presente estudo. Diante disso, os algoritmos selecionados para a estimativa da disponibilidade de ferro foram: Monsen e Balintfy (1982), Singer et al. (1982), Du et al. (2000) e Rickard et al. (2009), devido à possibilidade de obtenção das variáveis consideradas nos cardápios a serem analisados, bem como por não exigirem parâmetros bioquímicos para a sua aplicação, visto que no cenário da pandemia esta coleta foi impossibilitada. Quando necessário, foram considerados níveis de estoques corporais de ferro de 250mg, assumindo-se concentração média de ferritina sérica de 30 μ L, conforme Beard et al. (2007) e Oliveira, Oliveira e Amancio (2008).

2.1.1 Monsen e Balintfy (1982)

O modelo elaborado por Monsen e Balintfy (1982) considera apenas quantidade de carnes, peixes ou aves (CPA) e ácido ascórbico (AA), como fatores estimuladores (FE) da absorção de ferro não heme (FNH). Para isto, os autores assumem que o ferro heme (FH) corresponde a 40% do ferro total de CPA, e o FNH, aos 60% restantes do ferro de CPA e às outras fontes de ferro da dieta. Para o emprego deste algoritmo, excepcionalmente foram considerados 500mg de reservas corporais de ferro, conforme sugerem os autores. Assim, o percentual de absorção do FH é de 25%, enquanto que o do FNH varia entre 3 e 8%, a depender da quantidade de CPA e de AA na refeição.

Dessa forma, os FE foram somados em unidades: 1 unidade de FE corresponde a 1mg de AA ou 1g de CPA magro cozido ou 1,3g de CPA cru. Quando o somatório dos FE nas

refeições foi <75 unidades, o cálculo para estimar o percentual de absorção de FNH foi feito conforme a equação abaixo:

$$\text{Quando } \Sigma \text{ FE} < 75: \% = 3 + 8,93 \ln \left(\frac{\text{FE} + 100}{100} \right)$$

Além disso, para refeições sem FE, considera-se percentual de absorção de FNH de 3%, e para aquelas com somatório de FE superior a 75 unidades, o percentual de absorção é mantido em 8%. Este modelo também disponibiliza o percentual de absorção do FNH em diferentes valores de somatórios de FE ≤ 75 unidades (Quadro 1).

Quadro 1 - Percentual de biodisponibilidade de ferro não heme para indivíduos com 500 mg de reserva corporal de ferro

ΣFE	%	ΣFE	%	ΣFE	%	ΣFE	%	ΣFE	%
1	3.09	16	4.33	31	5.41	46	6.38	61	7.26
2	3.18	17	4.40	32	5.48	47	6.44	62	7.31
3	3.26	18	4.48	33	5.55	48	6.50	63	7.37
4	3.35	19	4.55	34	5.61	49	6.56	64	7.42
5	3.44	20	4.63	35	5.68	50	6.62	65	7.47
6	3.52	21	4.70	36	5.75	51	6.68	66	7.53
7	3.60	22	4.78	37	5.81	52	6.74	67	7.58
8	3.69	23	4.85	38	5.88	53	6.80	68	7.64
9	3.77	24	4.92	39	5.94	54	6.86	69	7.69
10	3.85	25	5.00	40	6.01	55	6.92	70	7.74
11	3.93	26	5.06	41	6.07	56	6.97	71	7.79
12	4.01	27	5.14	42	6.13	57	7.03	72	7.85
13	4.09	28	5.21	43	6.20	58	7.09	73	7.90
14	4.17	29	5.28	44	6.26	59	7.14	74	7.95
15	4.25	30	5.34	45	6.32	60	7.20	75	8.00

ΣFE : Somatório dos fatores estimuladores da absorção de ferro (FE) não heme da refeição.
Fonte: Adaptado de Monsen e Balintfy (1982).

O total estimado de ferro biodisponível é obtido através da soma de FH e FNH biodisponíveis, e deve ser calculado separadamente para cada refeição ou lanche. Para a

estimativa da quantidade diária de ferro biodisponível, após o cálculo isolado para cada refeição, considera-se a soma de todas as refeições que compõem o dia inteiro.

2.1.2 Singer et al. (1982)

Este modelo, também publicado em 1982, se propõe estimar o ferro absorvível a partir da avaliação dos FE (tecido animal e vitamina C) e do chá, como fator inibidor (FI) da absorção de ferro. Este algoritmo classifica as refeições segundo a quantidade de proteína (g) de CPA, ao invés de considerar CPA (g). Segundo os autores, a carne magra contém aproximadamente 25% de proteína; então, 6g de proteína correspondem a aproximadamente 25 g de CPA.

As refeições são avaliadas individualmente. Para estimar o ferro absorvível do dia inteiro, somam-se os dados obtidos com as refeições individuais. Dessa maneira, inicialmente classificam-se as refeições quanto à presença de FE, segundo o Quadro 2.

Refeição com mais que 225g de chá sofre redução de uma categoria de sua classificação inicial, exceto aquelas já classificadas inicialmente como de baixa disponibilidade. Após esta avaliação, realiza-se o cálculo segundo as equações abaixo:

$$\text{Refeição de baixa disponibilidade: Ferro absorvível} = (0.110FH) + (0.030FNH)$$

$$\text{Refeição de média disponibilidade: Ferro absorvível} = (0.122FH) + (0.050FNH)$$

$$\text{Refeição de alta disponibilidade: Ferro absorvível} = (0.14FH) + (0.080FNH)$$

Quadro 2 - Variáveis para classificar a disponibilidade de uma refeição.

CLASSIFICAÇÃO	CARACTERÍSTICAS DA REFEIÇÃO
Baixa disponibilidade	< 24 mg de vitamina C OU < 6 g de proteína de carnes, peixes ou aves
Média disponibilidade	25 mg < vitamina C < 75 mg OU 6 g < proteína de carnes, peixes ou aves < 18 g
Alta disponibilidade	> 75 mg de vitamina C OU > 18 g de proteína de carnes, peixes ou aves OU 25 -75 mg de vitamina C + 6 -18 g de proteína de carnes, peixes ou aves

Fonte: Adaptado de Singer et al. (1982).

2.1.3 Du et al. (2000)

Este modelo visa estimar a absorção de ferro a partir de refeições únicas. Para isto, consideram-se como variáveis: alimentos de origem animal, vegetais, frutas, AA e arroz, feijão e chá, conforme a expressão abaixo:

$$\% \text{ FNH biodisponível} = 1,7653 + 1,1252 \ln \left(\frac{\text{FEs}}{\text{FIs}} \right)$$

Onde: FEs são AA, alimentos de origem animal, vegetais, frutas, acrescidas do valor 1; e FIs são arroz, feijão e chá (seco), acrescidos de 1. Todas as variáveis são medidas em g, exceto o AA, em mg.

Para a aplicação destas variáveis no presente estudo, foram considerados como alimentos de origem animal: CPA, ovos, queijos, manteiga e leite. Já os vegetais considerados foram: tomate, cebola, cenoura, batata inglesa, batata doce, inhame, macaxeira, couve, alface, brócolis, chuchu, pimentão, abóbora, beterraba, coentro, cebolinha e alho.

Quanto às frutas, foram consideradas as gramaturas de todas que estavam presentes nas fichas técnicas, incluindo o limão constante nas preparações. Em relação ao arroz e feijão, foram utilizados os *per capita*; o flocão de arroz também foi considerado como arroz. Os componentes a seguir não foram incluídos nos cálculos: sal, colorífico, óleo de soja e orégano.

Para a estimativa de ferro biodisponível total, considera-se como FH 40% do total de ferro presente em CPA, sobre o qual aplica-se um percentual de absorção de 23%; obtido este valor, soma-se ao encontrado em FNH biodisponível.

2.1.4 Rickard et al. (2009)

Este algoritmo considera FE (AA, tecido animal de CPA) e FI (fitato, polifenóis do chá, cálcio e quantidade de FNH da refeição). De maneira semelhante aos algoritmos anteriores, as análises são feitas por refeição; para o dia inteiro, deve-se proceder à soma do ferro disponível por refeição.

A utilização deste modelo pressupõe duas etapas: 1) cálculo do % de FNH disponível, através da equação abaixo. Na ausência de algum FE e/ou FI na refeição, deverá ser atribuído o valor 1 na equação:

$$\% \text{FNH disponível} = \frac{22,42(1 + \ln(1 + 0,0056\text{AA})) (1 + \ln(0,0008\text{TA}))}{(1 + \ln(1 + 0,0008\text{Ca}))(1 + \ln(1 + 0,0033\text{Fitato}))(1 + \ln(0,0004\text{Polifenóis}))(1 + 0,0424\text{FNH})}$$

Onde: AA, fitato, polifenóis, cálcio, FH e FNH em mg e TA em g.

E, 2) cálculo do total de ferro disponível. Para esta etapa, considera-se que o FH apresenta disponibilidade de 25%, e realiza-se o cálculo conforme a expressão abaixo:

$$\text{Ferro disponível (mg)} = (\%FNH \text{ disponível})(FNH) + 0,25FH$$

2.2 AVALIAÇÃO DOS CARDÁPIOS

Esta avaliação foi realizada com base nos dados disponibilizados pela SEMED, através de fichas técnicas de preparação dos alimentos que compõem os cardápios ofertados antes da pausa nas atividades por conta da pandemia do novo coronavírus.

O cardápio estabelecido para análise foi o último cardápio mensal ofertado pelos CMEI, referente ao mês de março de 2020. A avaliação foi feita com base nos valores *per capita* para as crianças das creches, por refeição. Para a obtenção da quantidade de ferro, FE e FI do cardápio, foi efetuada a soma dos valores obtidos das fichas técnicas, por refeição. Na ausência de informações nas fichas técnicas, os dados foram obtidos de tabelas de composição de alimentos, na seguinte ordem de prioridade: Tabela Brasileira de Composição de Alimentos – TACO (NEPA/UNICAMP, 2011), Tabela de Composição Química dos Alimentos (FRANCO, 2001), Tabela de Composição de Alimentos: Suporte para decisão nutricional (PHILLIPI, 2002) e informação nutricional obtida dos rótulos dos alimentos. Para a determinação do conteúdo de fitato, foram utilizadas informações disponíveis na base de dados *PhyFoodComp*, versão 1.0 (FAO/IZINCG, 2018), considerando valores de pentafofato de inositol (IP5) ou hexafofato de inositol (IP6) e, quando na presença dos dois, foi utilizado o somatório de IP5 e IP6.

Após a conferência dos dados que compunham as fichas técnicas de preparações, foram avaliadas refeição por refeição que constituíram o cardápio mensal. Esse procedimento foi realizado considerando a quantidade total de ferro, FH, FNH, bem como os FE e FI presentes. Ao final de cada dia, foram somados os totais de todos os constituintes, obtendo, assim, dados por refeição e valores correspondentes ao somatório das refeições de cada dia, para posterior aplicação dos algoritmos.

Este procedimento, bem como as estimativas descritas na seção seguinte, foi realizado através do Programa Microsoft Excel, versão 16.50. A sua execução foi promovida por duas

pessoas independentes e, no caso de divergência nos valores encontrados, um terceiro avaliador foi consultado.

2.3 ESTIMATIVAS DE FERRO DISPONÍVEL E DA EFICIÊNCIA DE FERRO ABSORVÍVEL

As estimativas de ferro disponível ou absorvível foram realizadas através dos quatro algoritmos selecionados, segundo suas características, descritas no item 3.1., por duas pessoas independentes, sendo consultada uma terceira, no caso de divergência entre os valores. Para cada um deles, também foi estimada a eficiência de absorção do ferro, por meio da razão entre o ferro absorvível estimado e a quantidade total de ferro das refeições.

As estimativas do ferro absorvível foram realizadas para cada refeição. Em seguida, os resultados de um mesmo dia foram somados a fim de se obter uma estimativa diária do ferro absorvível, seguida da estimativa de eficiência da absorção diária de ferro. Ao final, foram calculadas a média e o erro padrão médio da quantidade de ferro absorvível e da estimativa da eficiência de absorção do ferro, considerando os vinte e dois resultados obtidos com cada algoritmo.

2.4 COMPARAÇÃO ENTRE AS ESTIMATIVAS E RECOMENDAÇÕES NUTRICIONAIS

Foram adotados os valores preconizados pelo PNAE para a oferta da alimentação escolar de pré-escolares em horário integral, conforme a Resolução nº 06-MEC/FNDE, de 08 de maio de 2020 (BRASIL, 2020). Segundo o PNAE, neste caso, 70% das recomendações nutricionais devem ser garantidos pela alimentação escolar.

Dessa maneira, por se tratar de cardápio elaborado para grupos populacionais, foi considerado o valor da *Estimated Average Requirement* (EAR) para a recomendação do total de ferro diário. Deste total, foi calculada a quantidade de ferro absorvível recomendada para a faixa etária avaliada, ao considerar que este valor corresponde a 18% do total de ferro ingerido (IOM, 2001).

Com os valores recomendados de ferro absorvível por faixa etária, estes dados foram comparados com as estimativas obtidas segundo cada algoritmo, para verificar o atendimento às necessidades diárias deste mineral.

2.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

As análises foram realizadas através do *software* R, versão 4.1.0. A associação entre os constituintes das refeições (TA, FNH, AA, AF e Ca) presentes nos cardápios foi obtida através

de análise de correlação entre as quantidades dos constituintes presentes nos vinte e dois cardápios. Já as estimativas obtidas em cada um dos quatro algoritmos foram descritas por meio do cálculo da média e do erro padrão médio. A correlação entre estimativas foi analisada por meio do coeficiente de correlação de Pearson. Na sequência, foi realizada Análise de Variância (ANOVA) com medidas repetidas para comparar as estimativas de ferro absorvível obtidas pelos quatro algoritmos. Por fim, foi aplicada a análise de Bland-Altman, com o intuito de verificar a concordância dos resultados obtidos com os diferentes algoritmos. Foi considerado um nível de significância de 5% em todos os testes.

A análise de Bland-Altman, para cada par de algoritmos foram calculadas as diferenças e as médias entre as vinte e duas estimativas obtidas com cada algoritmo. Em seguida, foi esboçado um gráfico de dispersão com esses pares (média x diferença), a fim de verificar a magnitude e a distribuição da diferença entre os resultados obtidos com os algoritmos. Para avaliar a magnitude, foram calculados a média ($\bar{x}$) e o desvio-padrão (DP) das diferenças (viés) e os limites de concordância (LC), iguais a $\bar{x} \pm 1,96\text{DP}$. Os limites de concordância também foram estimados por meio de intervalos com 95% de confiança. Por último, foi realizada uma análise de regressão entre as médias e as diferenças a fim de verificar se havia alguma divergência sistemática entre os resultados obtidos com cada par de algoritmos.

3. RESULTADOS

Foram vinte e dois dias de cardápio avaliados. A análise de correlação entre os constituintes presentes nas refeições de cada dia (Tabela 1) mostrou que TA e FNH apresentaram correlação positiva moderada ($r = 0,42$; $p < 0,05$), enquanto TA e Ca ($r = -0,54$) e Ca e AF ($r = -0,46$) apresentaram correlação negativa moderada ($p < 0,05$).

Tabela 1 – Correlação entre os constituintes presentes nas refeições

Correlação entre os constituintes presentes nas refeições				
	AA	Ca	AF	FNH
TA	$r = -0,1901$	$r = -0,5387^1$	$r = 0,2850$	$r = 0,4237^1$
AA		$r = 0,1343$	$r = -0,0977$	$r = -0,0061$
Ca			$r = -0,4565^1$	$r = -0,1419$
AF				$r = 0,0300$

AA: ácido ascórbico; Ca: cálcio; AF: ácido fítico; FNH: ferro não heme; TA: tecido animal.

¹ $p < 0,05$

Já as estimativas da disponibilidade de ferro, calculadas com cada um dos algoritmos selecionados, e da eficiência de absorção de ferro, considerando os vinte dois dias correspondentes ao cardápio mensal escolhido, estão descritas na Tabela 2, por meio da média e do erro padrão médio. As estimativas de ferro absorvível variaram entre 0,23 e 0,44 mg/dia, obtidas com os algoritmos de Singer et al. (1982) e de Rickard et al. (2009), respectivamente. Já a estimativa de eficiência de absorção variou entre 4,8% e 9,7%, para a mesma sequência de algoritmos (Tabela 2).

Tabela 2 – Estimativas de ferro absorvível e de eficiência de absorção de ferro

	Monsen e Balintfy (1982)	Singer et al. (1982)	Du et al. (2000)	Rickard et al. (2009)
Ferro absorvível (mg/dia)	0,39 ± 0,04	0,23 ± 0,03	0,30 ± 0,03	0,44 ± 0,04
Eficiência de absorção (%)	8,2 ± 0,30	4,8 ± 0,20	6,5 ± 0,41	9,7 ± 0,44

Nota: as medidas correspondem à média ± erro padrão médio.

Na Tabela 3, está indicado o número de dias em que as estimativas realizadas a partir dos algoritmos atendem às recomendações nutricionais de ferro adotadas pelo PNAE, conforme a faixa etária avaliada. Para a faixa etária de 1 a 3 anos, as estimativas calculadas por meio dos algoritmos de Rickard et al. (2009) e Monsen e Balintfy (1982) foram as que atenderam a EAR (IOM, 2001) por mais dias, 12 e 10, respectivamente. Considerando os resultados obtidos com os quatro algoritmos, as necessidades de ferro absorvível foram atendidas, simultaneamente, em três dos vinte e dois dias analisados.

Tabela 3 – Quantitativo de dias de atendimento às recomendações de ferro absorvível para alimentação escolar segundo as estimativas dos algoritmos

	Valor correspondente a 70% da EAR	Monsen e Balintfy (1982)	Singer et al. (1982)	Rickard et al. (2009)	Du et al. (2000)
EAR (1-3 anos)	0,3793	10	3	12	5
EAR (4-8 anos)	0,5179	5	0	6	3

EAR: *Estimated Average Requirement* (IOM, 2001).

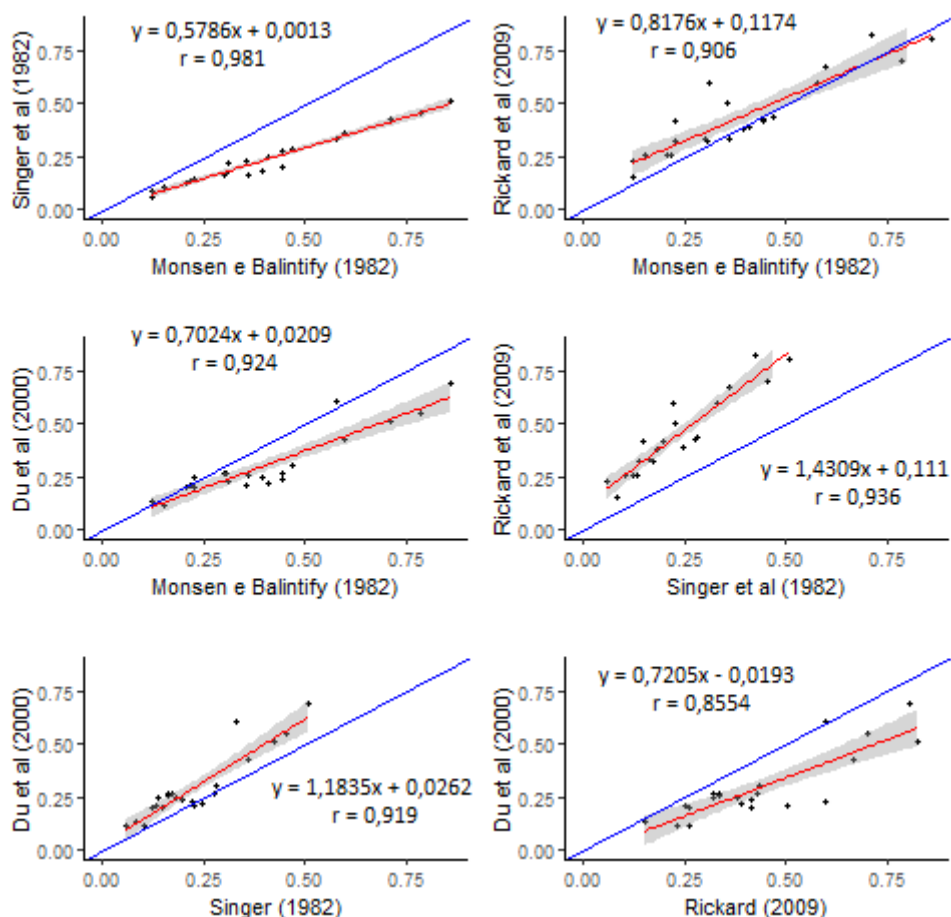
No caso de agrupamentos de três algoritmos, a combinação que apresentou melhor desempenho foi entre os algoritmos de Monsen e Balintfy (1982), Du et al. (2000) e Rickard et al. (2009), que atenderam simultaneamente a EAR (IOM, 2001) em cinco dias. Quando comparados dois a dois, Monsen e Balintfy (1982) e Rickard et al. (2009) foram os que apresentaram o maior número de dias em que a recomendação indicada pela EAR (IOM, 2001) foi atendida (9 dias).

Quanto às necessidades nutricionais diárias de ferro absorvível para a faixa etária entre 4-8 anos, os dados da Tabela 3 demonstram que as estimativas obtidas pelos algoritmos de Rickard et al. (2009) e Monsen e Balintfy (1982) foram as que atenderam à recomendação no maior número de dias, seis e cinco, respectivamente. Por outro lado, nenhuma estimativa obtida a partir do algoritmo de Singer et al. (1982) atendeu à recomendação. Considerando os outros três algoritmos, as recomendações foram atendidas concomitantemente em três dias. Com referência aos pares de algoritmos, o melhor resultado foi obtido com a combinação de Monsen e Balintfy (1982) e Rickard et al. (2009), em que a recomendação foi simultaneamente atendida em cinco dias.

Em relação à associação entre os resultados obtidos pelos algoritmos, a análise de correlação constatou uma correlação linear positiva muito forte entre o ferro absorvível estimado pelos algoritmos ($r > 0,9$), exceto entre o algoritmo de Rickard et al. (2009) e o de Du et al. (2000), que apresentou correlação positiva forte ($r = 0,85$). As correlações entre os resultados obtidos pelos algoritmos são apresentadas na Figura 1. Em cada caso, são apresentados o coeficiente de correlação de Pearson (r) e a equação de regressão. Em todos os casos, as correlações apresentaram significância estatística ($p < 0,001$).

Considerando que uma alta correlação não significa, necessariamente, uma concordância entre os métodos (BLAND; ALTMAN, 2003), a análise de Bland-Altman foi aplicada a fim de comparar a diferença entre as estimativas obtidas com os quatro algoritmos utilizados. Inicialmente, foi realizada uma análise de variância com medidas repetidas (ANOVA), que indicou haver diferenças significativas entre as absorções médias estimadas por cada algoritmo ($p < 0,001$). Pelo teste de Tukey, verificou-se que, com exceção da comparação entre Monsen e Balintfy (1982) e Rickard et al. (2009), os resultados estimados pelos outros algoritmos apresentam diferenças significativas, como pode ser confirmado pelos valores- p indicados na Tabela 4.

Figura 1 – Correlações entre as estimativas de ferro absorvível realizadas através dos algoritmos indicados em cada gráfico, juntamente com a equação de regressão e o coeficiente de correlação de Pearson ($n = 22$).



Além disso, as primeiras colunas da Tabela 4 descrevem o viés entre os algoritmos indicados em cada linha, descritos pela média ($\bar{x}$) e desvio-padrão (DP) das diferenças das estimativas. Comparando esses valores, percebe-se que as estimativas que apresentaram mais concordância foram as obtidas com os algoritmos de Monsen e Balintify (1982) e Rickard et al. (2009), pois apresentaram o menor viés.

Tabela 4 – Avaliação da concordância entre as estimativas da disponibilidade do ferro dietético obtidas pelos algoritmos indicados

Algoritmos	Viés [mg]		Tukey	LC	IC para LI	IC para LS	RL
	$\bar{x}$ (IC 95%)	DP	p*	(LI ; LS) [mg]	[95%]	[95%]	p**
MB x S	0,16 (0,12; 0,20)	0,09	< 0,001	(-0,01 ; 0,34)	(-0,08 ; 0,06)	(0,27 ; 0,41)	< 0,001
MB x R	-0,04 (-0,08; -0,01)	0,09	0,07	(-0,22 ; 0,12)	(-0,28 ; -0,15)	(0,06 ; 0,19)	0,04
MB x D	0,1 (0,06; 0,13)	0,09	< 0,001	(-0,07 ; 0,26)	(-0,14 ; -0,01)	(0,20 ; 0,33)	< 0,001
S x R	-0,21 (-0,25; -0,17)	0,08	< 0,001	(-0,38 ; -0,04)	(-0,44 ; -0,31)	(-0,11 ; 0,02)	0,002
S x D	-0,07 (-0,10; -0,04)	0,07	0,002	(-0,19 ; 0,06)	(-0,25 ; -0,15)	(0,01 ; 0,11)	0,1224
R x D	0,14 (0,10; 0,18)	0,10	< 0,001	(-0,05 ; 0,33)	(-0,12 ; 0,03)	(0,26 ; 0,41)	0,01

MB: Monsen e Balintfy (1982); S: Singer et al. (1982); D: Du et al. (2000); R: Rickard et al. (2009);

$\bar{x}$: média (intervalo de confiança de 95%); IC: intervalo de confiança para estimar os limites de concordância; DP: desvio-padrão; LC: Limites de concordância; LI: Limite inferior=média - 1,96DP; LS: Limite superior = média + 1,96DP; RL: Regressão linear.

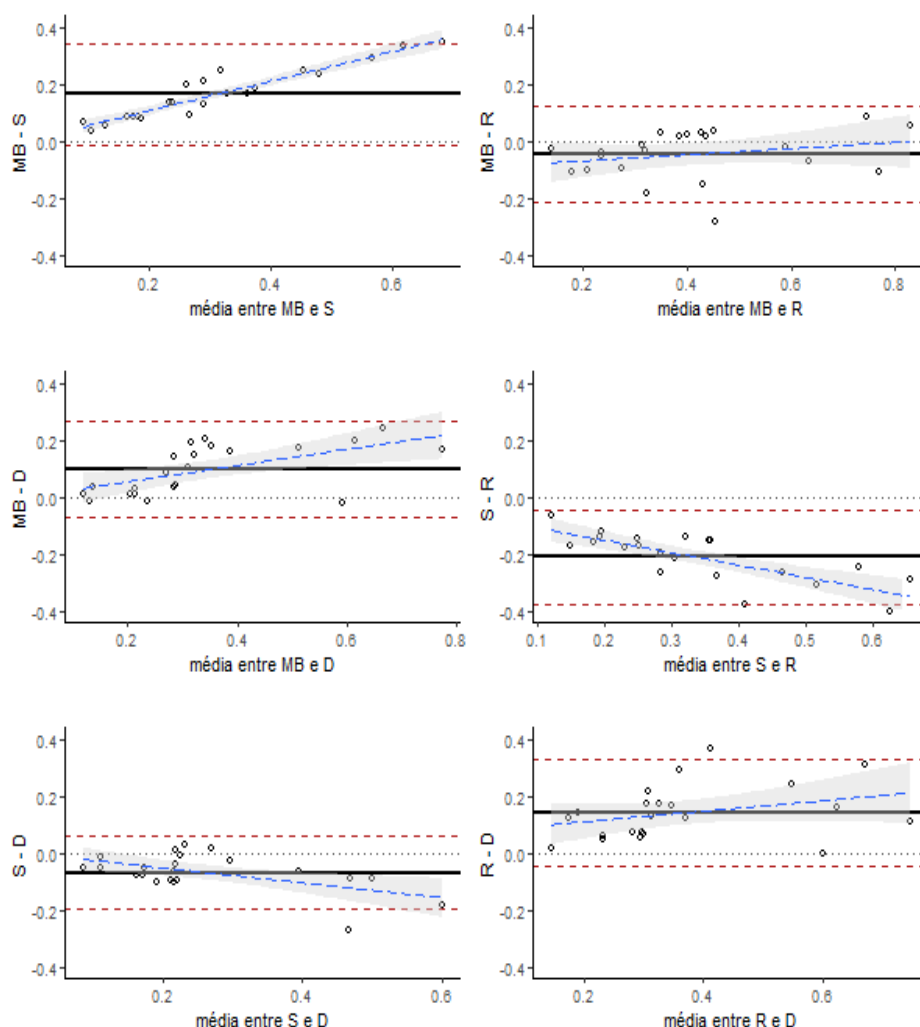
*valor-p do Teste de Tukey para comparar a absorção média entre os dois modelos indicados;

**valor-p da análise de regressão linear entre as diferenças das absorções e suas médias.

A Figura 2 demonstra os achados segundo a análise de Bland-Altman. Nela pode-se observar que quanto mais próximos os pontos se encontram da média das diferenças, melhor é a concordância entre os pares de algoritmos. Também é possível constatar por meio dos gráficos se existe algum viés de proporção, isto é, se a distribuição das diferenças segue alguma tendência. Assim, através da análise de regressão linear, cujos valores de p também estão indicados na Tabela 4, pode-se verificar se a discordância entre os algoritmos está distribuída de forma homogênea ou se há alguma tendência.

Neste caso, se $p > 0,05$ não há uma correlação linear significativa entre as diferenças das estimativas e suas médias, o que indica que não há um viés de proporção e, com isso, os valores se distribuem de forma homogênea, como é o caso do par Singer et al. (1982) e Du et al. (2000), em que suas médias se encontram próximo de 0, demonstrando concordância entre eles. Para os demais casos, os valores de p obtidos na regressão linear indicam que há um viés de proporção, isto é, a discordância aumenta, ou diminui, a partir da variação das estimativas. Tomando-se a reta de regressão indicada na Figura 2, verifica-se que para MB e S, MB e R, MB e D, e R e D a discordância é maior para estimativas mais elevadas de absorção, enquanto para S e R, a discordância diminui com o aumento das estimativas de absorção.

Figura 2 – Representação gráfica da concordância entre as estimativas da disponibilidade do ferro dietético obtidas pelos algoritmos indicados



MB: Monsen e Balintfy (1982); S: Singer et al. (1982); D: Du et al. (2000); R: Rickard et al. (2009).

4. DISCUSSÃO

A magnitude da absorção do ferro dietético é influenciada pelos estoques corporais e pelas características da alimentação. Por isso, o cuidado minucioso na elaboração de cardápios reveste-se de particular importância, principalmente quando são destinados a grupos de risco para a carência nutricional de ferro (GIBSON, 2007; HURRELL; EGLI, 2010; SAITO et al., 2014). Neste sentido, Silva Neto et al. (2018) observaram, através de uma revisão sistemática com meta-análise, que a intervenção dietética pode ser tão útil quanto a suplementação de ferro para a recuperação da concentração de hemoglobina de adolescentes e adultos, com a vantagem de não apresentar os riscos de rejeição e de efeitos colaterais comuns da terapia medicamentosa.

A elaboração de cardápios deve, portanto, considerar os fatores dietéticos que podem influenciar positiva ou negativamente na absorção de ferro, como uma estratégia que favorece o aumento da oferta de ferro absorvível (PERIGNON et al., 2018). Assumindo tal premissa, a Resolução nº 06 do Ministério da Educação-MEC/ Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação-FNDE, publicada em 08 de maio de 2020, que dispõe sobre o atendimento da alimentação escolar aos alunos da educação básica no âmbito do PNAE (BRASIL, 2020), recomenda a inclusão de alimentos fontes de FH, no mínimo quatro dias por semana, e a associação de alimentos fontes de vitamina C com a oferta de FNH, com o intuito de aumentar a disponibilidade de ferro da alimentação escolar.

A análise dos constituintes das refeições, por sua vez, consiste em mais uma estratégia de avaliação dos cardápios elaborados, que permite o estudo de correlação entre os FE e os FI. Os achados do presente estudo demonstram correlação positiva moderada entre TA e FNH, como era de se esperar, pois o tecido animal, como carnes, peixes e aves, é fonte do mineral. Vale destacar, adicionalmente, que a oferta concomitante de FNH de outras fontes dietéticas com TA é uma prática recomendável, dado o efeito estimulador da absorção de FNH exercido pelo próprio TA (REDDY; HURRELL; COOK, 2006).

Constatou-se, ainda, que TA e cálcio e cálcio e AF apresentaram correlação negativa moderada. No estudo realizado por Reddy, Hurrell e Cook (2000), os autores observaram correlação negativa forte entre TA e cálcio, bem como correlação significativa baixa entre AF e cálcio. Considerando-se o efeito inibidor de metais divalentes, a exemplo do cálcio, sobre a absorção do ferro dietético, até mesmo do FH, (LYNCH, 2000; ZAMZAM; RITO; HUNT, 2005; CANDIA et al., 2018) a correlação aqui observada merece destaque como um aspecto positivo do cardápio proposto. O cálcio pode competir pelo mesmo sítio de absorção e reduzir a disponibilidade de ferro (FUZI et al., 2017; GIBSON; RABOY; KING, 2018; MONICA et al., 2018). Por esta razão, a oferta de alimentos com maiores quantidades de ferro dissociados daqueles que são ricos em cálcio, numa mesma refeição, pode contribuir para o aumento da biodisponibilidade destes minerais.

Ademais, uma correlação positiva forte entre AA e FNH não observada neste estudo, porém facilmente alcançável através de melhorias na elaboração do cardápio, como a inclusão de fontes de AA nas refeições com maiores teores de ferro, seria bastante oportuna e atenderia às recomendações da Resolução nº 06 MEC/FNDE supracitada.

No âmbito local, a análise do cardápio ofertado nos CMEI do município de Maceió-AL, realizada neste estudo, permitiu concluir que quando a elaboração é feita considerando apenas o total de ferro, e não a quantidade de ferro absorvível, na grande maioria dos dias pode-se

pressupor que as recomendações do mineral foram atendidas. Esses dados diferem do estudo de Zuffo et al. (2016), realizado em CMEI de Colombo-PR, que observou que a ingestão mediana de ferro se encontrava abaixo das recomendações adotadas pelo PNAE.

No entanto, ao verificar a quantidade de ferro absorvível no cardápio, os valores encontrados na maioria dos dias não atenderam às recomendações nutricionais diárias de ferro das crianças assistidas pelos CMEI de Maceió, em cada uma das duas faixas etárias consideradas. Assim, o resultado do presente estudo contribui para a discussão e alerta para a necessidade de avaliação da disponibilidade do ferro dietético, especialmente de grupos vulneráveis da população, pois a quantidade total do mineral na dieta, mesmo quando aparentemente suficiente, pode não garantir o atendimento às necessidades nutricionais da população-alvo. Portanto, a qualidade global da dieta precisa ser observada com o intuito de elevar o percentual de absorção do mineral.

As estimativas da disponibilidade do ferro dietético obtidas pelos quatro algoritmos aqui empregados demonstraram que o par Monsen e Balintfy (1982) e Rickard et al. (2009) apresentaram resultados mais próximos, os quais atenderam às recomendações nutricionais em um número maior de dias, de forma simultânea. Ao estimar a eficiência de absorção de ferro, observou-se que esse mesmo par de algoritmos apresentou os maiores percentuais, 8,2% e 9,7%, respectivamente.

A análise de Bland-Altman confirmou que a dupla de algoritmos de Monsen e Balintfy (1982) e Rickard et al. (2009) apresentou a maior concordância entre seus resultados, na comparação das estimativas obtidas com os quatro algoritmos utilizados. Curiosamente, embora ambos utilizem como fatores estimuladores da absorção de FNH a presença de AA e CPA, apenas o algoritmo de Rickard et al. (2009) inclui fatores inibidores nas análises, fato este que não comprometeu a concordância entre eles, no presente estudo.

Por outro lado, sabe-se que estimativas da disponibilidade do ferro dietético que incluem dados bioquímicos do estado nutricional em ferro em suas equações tendem a ser mais fidedignas, quando se exclui possíveis fatores de confusão, como estado inflamatório (FAIRWEATHER-TAIT et al., 2017). No entanto, no estudo de Beard et al. (2007), que comparou o desempenho de seis algoritmos na estimativa da biodisponibilidade do ferro dietético de mulheres religiosas, em Manila, nas Filipinas, os autores observaram que a equação de Monsen e Balintfy (1982) forneceu a maior previsão da eficiência de absorção média, dentre os seis algoritmos utilizados. A alteração da concentração de ferritina sérica de 114 dessas mulheres, durante nove meses, foi tomada como referência para a determinação da eficiência de absorção do mineral. Os autores encontraram, ainda, correlação entre as estimativas obtidas

com esse algoritmo, simples e de fácil aplicação, e aquelas obtidas com o sofisticado algoritmo de Hallberg e Hulthen (2000), embora todos os algoritmos considerados, até mesmo o de Monsen e Balinfty (1982), tenham subestimado a absorção do ferro dietético. Vale destacar que a dieta avaliada era pobre em fatores inibidores. Tomando no conjunto, os achados do estudo de Beard et al. (2007) e do presente estudo, associados à facilidade de sua aplicação, permitem recomendar o algoritmo de Monsen e Balinfty (1982) como o de escolha, no contexto aqui investigado.

5. CONCLUSÃO

A quantidade de ferro disponível na alimentação escolar estimada neste estudo, diferente da quantidade total de ferro ofertada, não atende, na grande maioria dos dias, às recomendações nutricionais adotadas pelo PNAE. Além disso, a análise dos constituintes do cardápio confirmou a necessidade de adotar estratégias para associar o consumo de FNH e AA, bem como para aumentar a quantidade de FH e reduzir a presença de FI em refeições com maior aporte de alimentos fontes de ferro.

Apesar da ausência de análise de eficiência de absorção de ferro, através da observação de alteração de parâmetro bioquímico ao longo do tempo, e não apenas a estimativa de tal eficiência aqui realizada, os achados, associados aos dados disponíveis na literatura, permitem recomendar o algoritmo de Monsen e Balinfty (1982) como o de escolha.

Assim, o presente estudo reforça o alerta sobre o cuidado na elaboração de cardápios quanto à estimativa da disponibilidade do ferro dietético e a consequente importância do uso de algoritmos, como instrumento de avaliação da qualidade de dietas.

REFERÊNCIAS

- BEARD, J. L. et al. Iron absorption prediction equations lack agreement and underestimate iron absorption. **The Journal of Nutrition.**, v. 137, n.1, p.1741-1746, 2007.
- BLAND, J.M.; ALTMAN, D.G. Applying the right statistics: analyses of measurement studies. **Ultrasound in Obstetrics & Gynecology**, v. 22, n. 1, p. 85-93, 2003.
- BORGES, C. Q. et al. Fatores associados à anemia em crianças e adolescentes de escolas públicas de Salvador, Bahia, Brasil. **Caderno de Saúde Pública**, v. 25, n. 4, p.877-888, 2009.
- BRASIL. Ministério da Educação. Resolução nº. 38, de 16 de julho de 2009. Dispõe sobre o atendimento da alimentação escolar aos alunos da educação básica no Programa Nacional de Alimentação Escolar. **Diário Oficial da União**, 16 de julho de 2009.

- BRASIL. Ministério da Educação. Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação. Conselho Deliberativo. Resolução 06, de 08 de maio de 2020. Dispõe sobre o atendimento da alimentação escolar aos alunos da educação básica no âmbito do Programa Nacional de Alimentação Escolar –PNAE. **Diário Oficial da União**, 08 de maio de 2020.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Unicef. Cadernos de Atenção Básica: **Carências de Micronutrientes**. Brasília: MS, 2007, 60 p.
- BRASIL. Ministério da Saúde. **Pesquisa Nacional de Demografia e Saúde da Criança e da Mulher - PNDS, 2006**: Dimensões do processo reprodutivo e da saúde da criança. Brasília: MS, 2009, 300p.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde. Departamento de Atenção Básica. **Programa Nacional de Suplementação de Ferro**: manual de condutas gerais. Brasília: MS, 2013a, 24 p.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde. Departamento de Atenção Básica. **Dez passos para uma alimentação saudável**: guia alimentar para crianças menores de dois anos: um guia para o profissional da saúde na atenção básica. Brasília: MS, 2013b, 72 p.
- CANDIA, V. et al. Effect of various calcium salts on non-heme iron bioavailability in fasted women of childbearing age. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, v. 49, n. 1, p. 8-12, 2018.
- CARVALHO, A. G. C. et al. Diagnosis of iron deficiency anemia in children of Northeast Brazil. **Revista de Saúde Pública**, v. 44, n. 3, p.513-519, 2010.
- COLLINGS, R. et al. The absorption of iron from whole diets: A systematic review. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 98, p. 65-81, 2013.
- DE CARLI, E. et al. Dietary Iron Bioavailability: Agreement between Estimation Methods and Association with Serum Ferritin Concentrations in Women of Childbearing Age. **Nutrients**, v. 10, n.1, p. 650- 666, 2018.
- DU, S. et al. Current Methods for Estimating Dietary Iron Bioavailability Do Not Work in China. **The Journal of Nutrition**, v. 130, n. 1, p. 193 - 198, 2000.
- FAIRWEATHER-TAIT, S.; HURRELL, R. Bioavailability of minerals and trace elements. **Nutrition Research Reviews**, v. 9, n.1, p. 295-324, 1996.
- FAIRWEATHER-TAIT, S. J. et al. Modeling tool for calculating dietary iron bioavailability in iron-sufficient adults. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 105, n.1, p. 1408-1414, 2017.
- FAO/IZiNCG, 2018. FAO/INFOODS/IZiNCG Global Food Composition Database for Phytate Version 1.0 - PhyFoodComp 1.0. Rome, Italy: FAO/IZiNCG, 2018.
- FRANCO, G. **Tabela de composição química dos alimentos**. Rio de Janeiro: Atheneu, 2001, 324p.
- FUZI, S. F. A. et al. A 1-h time interval between a meal containing iron and consumption of tea attenuates the inhibitory effects on iron absorption: a controlled trial in a cohort of healthy UK women using a stable iron isotope. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 106, n.1, p. 1413-1421, 2017.
- GIBSON, R. S. The role of diet and host-related factors in nutrient bioavailability and thus in nutrient-based dietary requirement estimates. **Food and Nutrition Bulletin**, v. 28, n.1, p. 77–100, 2007.

- GIBSON, R. S.; RABOY, V.; KING, J. C. Implications of phytate in plant-based foods for iron and zinc bioavailability, setting dietary requirements, and formulating programs and policies. **Nutrition Reviews**, v. 76, n. 11, p. 793-804, 2018.
- HALLBERG, L.; HULTHEN, L. Prediction of dietary iron absorption: An algorithm for calculating absorption and bioavailability of dietary iron. **The American Journal of Clinical Nutrition**, V. 71, p. 1147-1160, 2000.
- HURRELL, R.; EGLI, I. Iron bioavailability and dietary reference values. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 91, n.1, p. 1461- 1467, 2010.
- INSTITUTE OF MEDICINE (IOM). **Dietary Reference Intakes for Vitamin A, Vitamin K, Arsenic, Boron, Chromium, Copper, Iodine, Iron, Manganese, Molybdenum, Nickel, Silicon, Vanadium, and Zinc**. Washington: National Academy Press, 2001.
- LYNCH, S. R. The effect of calcium on iron absorption. **Nutrition Research Reviews**, v. 13, n.1, p. 141-158, 2000.
- MONICA, A. et al. Calcium and zinc decrease intracellular iron by decreasing transport during iron repletion in an in vitro model. **European Journal of Nutrition**, v. 57, n.1, p. 2693-2700, 2018.
- MONSEN, E. R.; BALINTFY, J. L. Calculating dietary iron bioavailability: refinement and computerization. **Journal of American Dietetic Association**, v. 80, n. 4, p. 307-311, 1982.
- NÚCLEO DE ESTUDOS E PESQUISAS EM ALIMENTAÇÃO (NEPA) / UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS (UNICAMP). **Tabela brasileira de composição de alimentos - TACO**. Campinas: NEPA-UNICAMP, 2011. 161p.
- OLIVEIRA, T. S. C. et al. Anemia entre pré-escolares - um problema de saúde pública em Belo Horizonte, Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 19, n. 1, p. 59-66, 2014.
- OLIVEIRA, W. L.; OLIVEIRA, F. C.; AMANCIO, O. M. Estado nutricional e níveis hematológicos e séricos de ferro em pré-escolares de municípios com diferentes índices de desenvolvimento infantil. **Revista Paulista de Pediatria**, v. 26, n. 3, p. 225-230, 2008.
- PERIGNON, M. et al. The bioavailability of iron, zinc, protein and vitamin A is highly variable in French individual diets: Impact on nutrient inadequacy assessment and relation with the animal-to-plant ratio of diets. **Food Chemistry**, v. 238, n. 1, p. 73-81, 2018.
- PHILIPPI, S. T. **Tabela de composição de alimentos: suporte para decisão nutricional**. São Paulo: Coronário, 2002. 135p.
- REDDY, M. J. Algorithms to assess non-heme iron bioavailability. **International Journal for Vitamin and Nutrition Research**, v. 75, n. 6, p. 405 - 412, 2005.
- REDDY, M.B.; HURRELL, R.F.; COOK, J.D. Estimation of nonheme-iron bioavailability from meal composition. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 71, p. 937-943, 2000.
- REDDY, M.B.; HURRELL, R.F.; COOK, J.D. Meat consumption in a varied diet marginally influences nonheme iron absorption in normal individuals. **The Journal of Nutrition**, v. 136, n. 1, p. 576–581, 2006.
- RICKARD, A. P. et al. An algorithm to assess intestinal iron availability for use in dietary surveys. **British Journal of Nutrition**, v. 102, n.1, p. 1678-1685, 2009.
- SAITO, H. Metabolism of iron stores. **Nagoya Journal of Medical Science**, v. 76, p. 235-254, 2014.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE PEDIATRIA. **Consenso sobre anemia ferropriva: mais que uma doença, uma urgência médica.** Diretrizes: Departamentos de nutrição e hematologia- hemoterapia; 2018.

SINGER, J. D. et al. Diet and iron status, a study of relationship: United States, 1971-1974. **Vital and Health Statistics**, v. 11, n. 229, p. 1- 33, 1982.

SILVA, L. L. S. et al. Factors associated with anemia in young children in Brazil. **PLoS ONE**, v. 13, n. 9, 2018.

SILVA NETO, L. G. R. et al. Effects of iron supplementation versus dietary iron on the nutritional iron status: Systematic review with meta-analysis of randomized controlled trials. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 59, n. 16, p. 2553-2561, 2018.

SILVEIRA et al. Prevalence of iron-deficiency anaemia in Brazilian children under 5 years of age: a systematic review and meta-analysis. **British Journal of Nutrition**, p. 1-13, 2020

VIEIRA, R. C. S. et al. Prevalence and temporal trend (2005–2015) of anaemia among children in Northeast Brazil. **Public Health Nutrition**, v. 21, n. 5, p. 868–876, 2017.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Iron Deficiency Anaemia.** Assessment, Prevention, and Control. A guide for programme managers, 2001.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Centers for Disease Control and Prevention. **Worldwide prevalence of anaemia 1993–2005.** WHO Global Database on Anaemia. Geneva: WHO; 2008.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **The Global Prevalence of Anaemia in 2011.** Geneva: WHO; 2015.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Nutritional anaemias:** tools for effective prevention and control. Geneva: WHO; 2017.

ZAMZAM, K. F. R, ZITO, C. A.; HUNT, J.R. Inhibitory effects of dietary calcium on the initial uptake and subsequent retention of heme and nonheme iron in humans: comparisons using an intestinal lavage method. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 82, n.3, p. 589-597, 2005.

ZUFFO, C. R. K. et al. Prevalence and risk factors of anemia in children. **Jornal de Pediatria**, v. 92, n. 4, p. 353-360, 2016.

REFERÊNCIAS

- ANAND, A. N.; SESHADRI, S. A quantitative model for prediction of iron bioavailability from Indian meals: An experimental study. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, v. 46, n. 4, p. 335-342, 1995.
- ANDRE, H. P. et al. Indicadores de insegurança alimentar e nutricional associados à anemia ferropriva em crianças brasileiras: uma revisão sistemática. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 23, n. 4, p. 1159 – 1167, 2018.
- ABIZARI, A. R. et al. School feeding contributes to micronutrient adequacy of Ghanaian schoolchildren. **British Journal of Nutrition**, v. 112, n. 1, p. 1019-1033, 2014.
- ARMAH, S. M. et al. A Complete Diet-Based Algorithm for Predicting Nonheme Iron Absorption in Adults. **The Journal of Nutrition**, v. 143, p. 1136-1140, 2013.
- ARMAH, S. M.; CARRIQUIRY, A. L.; REDDY, M. B. Total Iron Bioavailability from the US Diet Is Lower Than the Current Estimate. **The Journal of Nutrition**, v. 145, n. 1, p. 2617-2621, 2015.
- ATHE, R.; RAO, M. V. V.; NAIR, K. M. Impact of iron-fortified foods on Hb concentration in children (<10 years): a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. **Public Health Nutrition**, v. 17, n. 3, p. 579- 586, 2013.
- BHARGAVA, A.; BOUIS, H. E.; SCRIMSHAW, N. S. Dietary intakes and socioeconomic factors are associated with the hemoglobin concentration of Bangladesh women. **The Journal of Nutrition**, v. 131, n. 1, p. 758-764, 2001.
- BRASIL. Ministério da Educação. Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação. Conselho Deliberativo. Resolução 06, de 08 de maio de 2020. Dispõe sobre o atendimento da alimentação escolar aos alunos da educação básica no âmbito do Programa Nacional de Alimentação Escolar –PNAE. **Diário Oficial da União**, 08 de maio de 2020.
- CHIPLONKAR, S. A.; AGTE, V. V. Statistical model for predicting nonheme bioavailability from vegetarian meals. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, v. 57, n. 7-8, p. 434-450, 2006.
- COLLINGS, R. et al. The absorption of iron from whole diets: A systematic review. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 98, p. 65-81, 2013.
- CONWAY, R. E. et al. Serum iron curves can be used to estimate dietary iron bioavailability in humans. **The Journal of Nutrition**, v.136, n. 1, p. 1910 - 1914, 2006.

CONWAY, R. E.; POWELL, J. J.; GEISSLER, C. A. A food-group based algorithm to predict non-heme iron absorption. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, v. 58, n. 1, p. 29 - 41, 2007.

COOK, J. D.; DASSENKO, S. A.; LYNCH, S. R. Assessment of the role of nonheme-iron availability in iron balance. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 54, n. 1, p. 717-722, 1991.

DAINTY, J. R. et al. Estimation of Dietary Iron Bioavailability from Food Iron Intake and Iron Status. **PLoS ONE**, v. 9, n. 10, p. 1- 9, 2014.

DE CARLI, E. et al. Dietary Iron Bioavailability: Agreement between Estimation Methods and Association with Serum Ferritin Concentrations in Women of Childbearing Age. **Nutrients**, v. 10, n.1, p. 650- 666, 2018.

DU, S. et al. Current Methods for Estimating Dietary Iron Bioavailability Do Not Work in China. **The Journal of Nutrition**, v. 130, n. 1, p. 193 - 198, 2000.

FAIRWEATHER-TAIT, S.; HURRELL, R. Bioavailability of minerals and trace elements. **Nutrition Research Reviews**, v. 9, n.1, p. 295-324, 1996.

FAIRWEATHER-TAIT, S. J. et al. Modeling tool for calculating dietary iron bioavailability in iron-sufficient adults. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 105, n.1, p. 1408-1414, 2017.

FERREIRA, R.C.; BARBOSA, L.B.; VASCONCELOS, S.M.L. Studies assessing food consumption by the scores method: a systematic review. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 24, n. 5, p. 1777-1792, 2019.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION / WORLD HEALTH ORGANIZATION - FAO/WHO. **Requirements of vitamin A, iron, folate, and vitamin B12**. FAO Food Nutr. Series no. 23, chapter 5. FAO, Rome, Italy, 1988.

HALLBERG, L.; BRUNE, M.; ROSSANDER, L. Iron absorption in man: ascorbic acid and dose-dependent inhibition by phytate. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 49, p. 140-144, 1989.

HALLBERG, L.; HULTHEN, L. Prediction of dietary iron absorption: An algorithm for calculating absorption and bioavailability of dietary iron. **The American Journal of Clinical Nutrition**, V. 71, p. 1147-1160, 2000.

INSTITUTE OF MEDICINE (IOM). **Dietary Reference Intakes for Vitamin A, Vitamin K, Arsenic, Boron, Chromium, Copper, Iodine, Iron, Manganese, Molybdenum, Nickel, Silicon, Vanadium, and Zinc**. Washington: National Academy Press, 2001.

LOPEZ, A. et al. Iron deficiency anaemia. **The Lancet**, v. 387, p.907-916, 2016.

MONSEN, E. R.; BALINTFY, J. L. Calculating dietary iron bioavailability: Refinement and computerization. **Journal of The American Dietetic Association**, v. 80, p. 307- 311, 1982.

MONSEN et al. Estimation of available dietary iron. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 31, p. 134-141, 1978.

MURPHY, S. P.; BEATON, G. H.; CALLOWAY, D. H. Estimation mineral intakes of toddlers: predicted prevalence of inadequacy in village populations in Egypt, Kenya, and Mexico. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 56, n. 1, p. 565-572, 1992.

NARASINGA RAO, B. S.; PRABHAVATHI, T. An in vitro method for predicting the bioavailability of iron from foods. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v.31, n.1, p. 169-175, 1978.

OLIVEIRA, T. S. C. et al. Anemia entre pré-escolares - um problema de saúde pública em Belo Horizonte, Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 19, n. 1, p. 59-66, 2014.

REDDY, M. J. Algorithms to assess non-heme iron bioavailability. **International Journal for Vitamin and Nutrition Research**, v. 75, n. 6, p. 405 - 412, 2005.

REDDY, M.B.; HURRELL, R.F.; COOK, J.D. Estimation of nonheme-iron bioavailability from meal composition. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 71, p. 937-943, 2000.

RICKARD, A. P. et al. An algorithm to assess intestinal iron availability for use in dietary surveys. **British Journal of Nutrition**, v. 102, p. 1678-1685, 2009.

SILVA, L. L. S. et al. Factors associated with anemia in young children in Brazil. **PLoS ONE**, v. 13, n. 9, 2018.

SILVA NETO, L. G. R. et al. Effects of iron supplementation versus dietary iron on the nutritional iron status: Systematic review with meta-analysis of randomized controlled trials. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 59, n. 16, p. 2553-2561, 2018.

SILVEIRA et al. Prevalence of iron-deficiency anaemia in Brazilian children under 5 years of age: a systematic review and meta-analysis. **British Journal of Nutrition**, p. 1-13, 2020

SINGER, J. D. et al. Diet and iron status, a study of relationship: United States, 1971-1974. **Vital and Health Statistics**, v. 11, n. 229, p. 1- 33, 1982.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE PEDIATRIA. **Consenso sobre anemia ferropriva**: mais que uma doença, uma urgência médica. Diretrizes: Departamentos de nutrologia e hematologia- hemoterapia; 2018.

TSENG, M. et al. Adjustment of Iron Intake for Dietary Enhancers and Inhibitors in Population Studies: Bioavailable Iron in Rural and Urban Residing Russian Women and Children. **The Journal of Nutrition**, v. 127, n.1, p. 1456 - 1468, 1997.

VIEIRA, R. C. S. et al. Prevalence and temporal trend (2005-2015) of anaemia among children in Northeast Brazil. **Public Health Nutrition**, v. 21, n. 5, p. 868-876, 2017.