



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE
INSTITUTO DE NUTRIÇÃO JOSUÉ DE CASTRO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS NUTRICIONAIS

IGOR DA COSTA SALVADOR

**PREDIÇÃO DO PERCENTUAL DE GORDURA CORPORAL
EM INDIVÍDUOS COM OBESIDADE: NOVAS ABORDAGENS
METODOLÓGICAS**

Rio de Janeiro
Junho de 2024

IGOR DA COSTA SALVADOR

**PREDIÇÃO DO PERCENTUAL DE GORDURA CORPORAL
EM INDIVÍDUOS COM OBESIDADE: NOVAS ABORDAGENS
METODOLÓGICAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Nutrição (PPGN), do Instituto de Nutrição Josué de Castro da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito para obtenção do título de Mestre em Nutrição Humana.

Orientadora: Profa. Dra. Anna Paola Trindade Rocha Pierucci.

Coorientador: Drº. Luiz Lannes Loureiro.

Rio de Janeiro
Junho de 2024

FICHA CATALOGRÁFICA

CIP - Catalogação na Publicação

S24p Salvador, Igor da Costa
PREDIÇÃO DO PERCENTUAL DE GORDURA CORPORAL EM INDIVÍDUOS COM OBESIDADE: NOVAS ABORDAGENS METODOLÓGICAS / Igor da Costa Salvador. -- Rio de Janeiro, 2024.
100 f.

Orientadora: Anna Paola Trindade Rocha Pierucci.
Coorientador: Luiz Lannes Loureiro.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Nutrição Josué de Castro, Programa de Pós-Graduação em Nutrição, 2024.

1. Composição corporal. 2. Obesidade. I. Pierucci, Anna Paola Trindade Rocha, orient. II. Loureiro, Luiz Lannes, coorient. III. Título.

IGOR DA COSTA SALVADOR

**PREDIÇÃO DO PERCENTUAL DE GORDURA CORPORAL
EM INDIVÍDUOS COM OBESIDADE: NOVAS ABORDAGENS
METODOLÓGICAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Nutrição (PPGN), do Instituto de Nutrição Josué de Castro da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito para obtenção do título de Mestre em Nutrição Humana.

Examinada por:

Professora Dra. Anna Paola Trindade Rocha Pierucci

Instituto de Nutrição Josué de Castro/Universidade Federal do Rio de Janeiro
Orientadora

Professora Dra. Josely Correa Koury

Instituto de Nutrição da Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Revisora

Professora Dra Wilza Arantes Ferreira Peres

Instituto de Nutrição Josué de Castro/Universidade Federal do Rio de Janeiro
Banca Examinadora

Professora Dra. Maria Lucia Fleiuss de Farias

Hospital Universitário Clementino Fraga Filho/Universidade Federal do Rio de Janeiro
Banca Examinadora

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos os voluntários que dedicaram parte do seu dia para participar da pesquisa. Agradeço aos companheiros de pesquisa do DAFEE pelo suporte e auxílio em todas as etapas deste trabalho. Especialmente a Tathiany, Carol e Luiz pela parceria na criação e desenvolvimento não só deste trabalho, mas de todos os materiais apresentados em eventos ao longo desse período e por todas as discussões e debates que engrandeceram este trabalho e toda a minha formação neste período. A Angélica pela parceria e dedicação nas coletas.

Agradeço a prof. Anna Paola por ter me recebido em seu laboratório de forma acolhedora, de forma que me senti em casa para desenvolver este trabalho. Por todo o suporte, ensinamentos e contribuições. Serei sempre grato por todo o aprendizado que obtive durante estes últimos dois anos e por todas as experiências vividas aqui. O DAFEE tem sem dúvidas um lugar especial na minha história acadêmica e de vida.

Agradeço a todos os amigos, familiares, alunos e pacientes que compreenderam minhas ausências quando necessárias e sempre me incentivaram nesta jornada, sem o apoio e compreensão de vocês nada disso seria possível.

Agraço imensamente a meus pais e minha irmã que com amor incondicional sempre me apoiam e incentivam para que eu continue buscando meus sonhos.

Agradeço aos professores das bancas de qualificação e defesa pela disponibilidade de seus preciosos tempos, pela leitura atenta e pelas contribuições que engrandecem o trabalho.

Agradeço a prof. Nicole Bender por todo o auxílio e prontidão em me ajudar durante o processo para o intercâmbio que me permitiu uma experiência de vida inimaginável. A você e seus alunos que me tão carinhosamente me receberam na Universidade de Zurique, o meu mais profundo agradecimento.

Um agradecimento mais que especial a minha amada Jéssica que aturou doses extras de estresse e cansaço e que ouve diariamente minhas lamentações, angústias e alegrias, dividir todos esses momentos com você tornam essa caminhada da vida muito mais leve e agradável.

Encerro este período não só como um pesquisador melhor, mas como uma pessoa melhor e devo tudo isso a cada um de vocês que direta ou indiretamente contribuíram para este trabalho.

A todos vocês meu muito obrigado!

Igor Salvador.

APRESENTAÇÃO

Esta dissertação é derivada de um projeto de pesquisa matriz intitulado “Avaliação antropométrica da população adulta brasileira: análise dos componentes corporais por diversos métodos existentes”. O estudo foi baseado e inspirado na pesquisa de um aluno de pós-doutorado, engajando nosso laboratório para realizar uma ambiciosa coleta. O projeto foi conduzido por alunos e pesquisadores do Laboratório de Desenvolvimento de Alimentos para Fins Especiais e Educacionais (DAFEE), Instituto de Nutrição Josué de Castro (INJC), Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e coordenado pela Prof^a Dr^a Anna Paola Pierucci. Trata-se de um estudo com desenho observacional transversal em adultos. O recrutamento e a coleta de dados ocorreram de forma simultânea entre agosto de 2021 e fevereiro de 2022, sendo concluído em fevereiro de 2022. O objetivo principal da presente dissertação foi, inicialmente, avaliar o percentual de gordura corporal de indivíduos com obesidade por diferentes métodos presentes na prática clínica, como as dobras cutâneas, análise de impedância bioelétrica (BIA), métodos de imagem como a ultrassonografia modo-A (US) e a foto bidimensional, comparados com valores obtidos pela absorciometria de dupla emissão de raios X (DXA), o qual é um dos principais métodos de referência na pesquisa clínica, pois possui elevada acurácia para a mensuração da composição corporal, sendo padrão ouro para estudos ósseos. Após as análises iniciais o projeto evoluiu para uma nova coleta (janeiro a dezembro de 2023) contando com indivíduos com $IMC \geq 30 \text{ kg/m}^2$, com o objetivo de desenvolver e validar novas equações preditivas para melhorar a acurácia dos métodos testados (BIA e US).

Os capítulos de Resultados e Discussão desta dissertação serão apresentados em formato de artigos com três propostas de publicação a serem submetidas após a defesa. Ao longo deste período, acumulamos um extenso banco de dados com informações ainda a serem exploradas. Portanto esperamos que novos trabalhos surjam de uma exploração mais profunda de todos os dados coletados até aqui. Esta dissertação é um dos diversos frutos provenientes de muito trabalho do grupo de antropometria do Lab. DAFEE.

Durante todo o período, atuei em todas as etapas da pesquisa desde o desenvolvimento do material para aprovação pelo comitê de ética, e todas as funções durante o desenvolvimento incluindo: agendamento dos voluntários, coleta, treinamentos para manuseio de equipamentos, orientação de alunos de iniciação científica, tabulação de dados, análise estatísticas, escrita e apresentação de resumos em eventos científicos e elaboração de artigos científicos. Através deste projeto tive a oportunidade de ir ao evento anual do American

College of Sports Medicine, maior instituição de medicina do esporte em maio de 2023, apresentar parte do trabalho, e ainda pode realizar um intercâmbio na Universidade de Zurique no Instituto de Medicina Evolutiva em outubro de 2023. A qualidade dos dados coletados garantiu a divulgação de diversos estudos apresentados em eventos científicos, como descrito abaixo:

SALVADOR, I. C.; FERREIRA, T. J. ; PESSANHA, C. R. ; SOUZA, M. L. R. ; PIERUCCI, A. P. T. R. . Agreement Between Bioimpedance, 2D Photo and Dxa In Estimating Body Composition in Obese Adults. In: ACSM Annual Meeting & World Congress, 2023, 2023, Denver, CO. Official Journal of the American College of Sports Medicine, 2023.

FERREIRA, T. J. ; PESSANHA, C. R. ; **SALVADOR, I. C. ;** SOUZA, M. L. R. ; RANGEL, L. F. P. ; SILVA, R. R. M. ; PIERUCCI, A. P. T. R. . Agreement Between Bioelectrical Impedance Analysis, 2D Photo And Dual Energy X-Ray Absorptiometry In Adults. In: ACSM Annual Meeting & World Congress, 2023, 2023, Denver, CO. Official Journal of the American College of Sports Medicine, 2023.

SALVADOR, I. C.; BITTENCOURT, V. Z. ; FERREIRA, T. J. ; PESSANHA, C. R. ; COSTA, G. G. ; ASSUMPCAO, A. C. R. ; SACOM, J. P. B. ; PEREIRA, T. R. F. ; CAPISTRANO JUNIOR, V. L. M. ; SOUZA, M. L. R. ; LOUREIRO, L. L. ; PIERUCCI, A. P. T. R. . Agreement Between Skinfold, Ultrasound And Dual-energy X-ray Absorptiometry In Adults.. In: 2022 ACSM Annual Meeting & World Congresses, 2022, Califórnia. Official Journal of the American College of Sports Medicine, 2022.

PESSANHA, C. R. ; COSTA, G. G. ; FERREIRA, T. J. ; BITTENCOURT, V. Z. ; **SALVADOR, I. C. ;** RANGEL, L. F. P. ; ASSUMPCAO, A. C. R. ; SACOM, J. P. B. ; CAPISTRANO JUNIOR, V. L. M. ; SOUZA, M. L. R. ; LOUREIRO, L. L. ; PIERUCCI, A. P. T. R. . Development And Validation Of An Equation For Bone Mineral Content And Density Using Anthropometry.. In: 2022 ACSM Annual Meeting & World Congresses, 2022, Califórnia. Official Journal of the American College of Sports Medicine, 2022.

SOUZA, M. L. R. ; CAPISTRANO JUNIOR, V. L. M. ; LOUREIRO, L. L. ; PESSANHA, C. R. ; ASSUMPCAO, A. C. R. ; **SALVADOR, I. C. ;** BITTENCOURT, V. Z. ; FERREIRA, T.

J. ; PIERUCCI, A. P. T. R. . Agreement Of The Body Fat Percentage Evaluated By Ultrasound, Bioelectrical Impedance And Dxa In Brazilian Adults.. In: 2022 ACSM Annual Meeting & World Congresses, 2022, Califórnia. Official Journal of the American College of Sports Medicine, 2022.

FERREIRA, T. J. ; PESSANHA, C. R. ; COSTA, G. G. ; BITTENCOURT, V. Z. ; **SALVADOR, I. C.** ; ASSUMPCAO, A. C. R. ; SACOM, J. P. B. ; SILVA, R. R. M. ; SOUZA, M. L. R. ; PIERUCCI, A. P. T. R. . Agreement Between Different Body Composition Methods And Dual-energy X-ray Absorptiometry In Adults. In: 2022 ACSM Annual Meeting, World Congress on Exercise is Medicine, 2022, San Diego, CA. Official Journal of the American College of Sports Medicine, 2022. v. 54.

BITTENCOURT, V. Z. ; FERREIRA, T. J. ; PESSANHA, C. R. ; **SALVADOR, I. C.** ; ASSUMPCAO, A. C. R. ; SACOM, J. P. B. ; FERNANDES, F. A. ; CAPISTRANO JUNIOR, V. L. M. ; SOUZA, M. L. R. ; LOUREIRO, L. L. ; PIERUCCI, A. P. T. R. . Comparation Of Thickness Of Adipose Tissue Between Skinfolds And Ultrasound Method In Brazilian Adults.. In: 2022 ACSM Annual Meeting & World Congresses, 2022, Califórnia. Official Journal of the American College of Sports Medicine, 2022.

Boa leitura.

RESUMO

SALVADOR, Igor da Costa. **Predição do Percentual de Gordura Corporal em Indivíduos com Obesidade: Novas Abordagens Metodológicas**. Rio de Janeiro, 2024. Dissertação (Mestre em Nutrição Humana). Instituto de Nutrição Josué de Castro, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2024.

Resumo

Mensurar de forma acurada a composição corporal e a distribuição dos diferentes tecidos corporais permite uma melhor classificação de riscos à saúde, tendo em vista que os desfechos negativos podem estar relacionados a gordura corporal elevada independentemente do índice de massa corporal (IMC). A predição da composição corporal conta com poucos protocolos específicos para a população com obesidade, utilizar equações desenvolvidas para outras populações aumenta a margem de erro das aferições em indivíduos com obesidade. O objetivo deste estudo foi investigar novas abordagens metodológicas para avaliação da gordura corporal em indivíduos adultos com obesidade ($IMC \geq 30 \text{ kg/m}^2$), incluindo: desenvolver e validar equações específicas para avaliações por meio de impedância bioelétrica (BIA), estabelecer um protocolo para avaliação por ultrassografia modo A (US) e testar a aplicabilidade de um modelo de avaliação das circunferências corporais por inteligência artificial (IA) e visão computacional (VC) a partir de fotos de smartphone. Ao término de todas as etapas, foram avaliados, 394 indivíduos empregando os métodos BIA (TeraScience), US-A (BodyMetrix), foto 2D (Shaped), circunferências corporais (pescoço, braço relaxado, antebraço, cintura, abdômen, quadril, coxa medial e panturrilha) e a absorciometria de dupla emissão de raios-X (DXA). Foram geradas equações para a predição do percentual de gordura corporal a partir dos dados de BIA e a partir dos dados de imagens de US modo-A. As equações foram testadas pelas métricas de: R^2 , RMSE, MAPE e SEE. A concordância entre os valores obtidos e aqueles derivados da DXA foi obtida pela análise do coeficiente de correlação de concordância (Lin, 1989, 2001) e o viés e os limites de concordância avaliados pelo gráfico de Bland-Altman. As equações com dados brutos da impedância apresentaram erro significativamente menor do que a equação preditiva gerada pelo sistema Tera Science. A predição da composição corporal por imagens de US modo-A se contrapõe ao modelo tradicional de avaliação utilizado por este método e apresenta vantagens ao avaliar indivíduos com obesidade por não depender da identificação de pontos anatômicos e equações antropométricas inespecíficas para o método e a população alvo. O protocolo de avaliação apresentou boa acurácia com viés médio de 1% de erro. Em avaliações anteriores com as equações que se utilizavam da espessura por US os vieses percentuais entre -15% a -24%. A terceira proposta de trabalho consistiu em testar a aplicabilidade de um modelo de avaliação das circunferências corporais por inteligência artificial (IA) e visão computacional (VC) a partir de fotos de smartphone. O modelo proposto apresentou grande potencial de aplicabilidade, no entanto, ainda precisa de ajustes para a correta predição de medidas corporais em indivíduos com obesidade. Das seis medidas avaliadas três (braço, antebraço e cintura) apresentaram erro percentual médio maior que 2%. O desenvolvimento e validação de algoritmos com mais indivíduos com obesidade em sua base de dados poderá permitir resultados mais acurados do método. O presente estudo apresentou novas abordagens na avaliação da gordura corporal em indivíduos com obesidade, apresentando resultados com melhor acurácia frente aos métodos originais.

Palavras-Chave: Obesidade; Composição Corporal; Equações Preditivas.

ABSTRACT

SALVADOR, Igor da Costa. **Prediction of Body Fat Percentage in Individuals with Obesity: New Methodological Approaches.** Rio de Janeiro, 2024. Dissertação (Mestre em Nutrição Humana). Instituto de Nutrição Josué de Castro, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2024.

Abstract

Accurately measuring body composition and the distribution of different body tissues allows for a better classification of health risks considering that negative outcomes may be related to high body fat regardless of body mass index (BMI). The prediction of body composition has few specific protocols for the population with obesity; using equations developed for other populations increases the margin of error in measurements in individuals with obesity. The objective of this study was to investigate new methodological approaches for assessing body fat in adult individuals with obesity ($BMI \geq 30 \text{ kg/m}^2$), including: developing and validating specific equations for assessments using bioelectrical impedance (BIA), establishing a protocol for evaluation using A-mode ultrasound (US) and testing the applicability of a model for evaluating body circumferences using artificial intelligence (AI) and computer vision (VC) using smartphone photos. At the end of all stages, a total of 394 individuals were evaluated using BIA (TeraScience), US (BodyMetrix), photo (Shaped), body circumferences (neck, relaxed arm, forearm, waist, abdomen, hip, medial thigh and calf) and dual energy X-ray absorptiometry (DXA). Equations were generated to predict body fat percentage from BIA data and A-mode US image data. The equations were tested using the metrics: R^2 , RMSE, MAPE and SEE. The agreement between the values obtained and those derived from DXA was obtained by analyzing the correlation coefficient of agreement (Lin, 1989, 2001) and the bias and limits of agreement evaluated by the Bland-Altman plot. The equations with BIA data showed an average bias of less than 1% error, a significant improvement compared to the 8% presented by the original equation of the BIA system used. The prediction of body composition using A-mode US images is in contrast to the traditional evaluation model used by this method and presents advantages when evaluating individuals with obesity as it does not depend on the identification of anatomical points and anthropometric equations that are nonspecific for the method and the target population. The evaluation protocol showed good accuracy with an average bias of 1% error. In previous evaluations with equations that used US thickness, percentage biases ranged from -15% to -24%. The third work proposal consisted of testing the applicability of a model for evaluating body circumferences using artificial intelligence (AI) and computer vision (VC) using smartphone photos. The proposed model showed great potential for applicability, however, it still needs adjustments for the correct prediction of body measurements in individuals with obesity. Of the six measurements evaluated, three had an average percentage error greater than 2%. The development and validation of algorithms with more individuals with obesity in their database may allow for more accurate results from the method. The present study presented new approaches to the assessment of body fat in individuals with obesity, presenting results with better accuracy compared to the original methods.

Keywords: Obesity; Body composition; Predictive Equations.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Índice de Conicidade.....	22
Figura 2: Gráfico da ultrassonografia modo-A e imagem do modo-B	28
Figura 3: Imagem de escaneamento de área da ultrassonografia modo-A.....	28
Figura 4: Processamento de imagens pela visão computacional.....	30
Figura 5: IA de arredondamento das medidas corporais.....	30
Figura 6: Diagrama de dispersão de Bland-altman.....	32
Figura 7: Poses e vestimenta para as fotos.....	39
Figura 8: Fluxograma dos dois momentos de coleta de dados.....	41
Manuscrito I	
Figure 1: Bland-Altman between BIA equations and <i>DXA</i>	49
Manuscrito II	
Figure 1: US scan showing the marked ten points fat thickness used to calculate the mean thickness value of each body region to estimate whole body fat.....	58
Figure 2: Bland Altman plots of the three equations.....	60
Manuscrito III	
Figure 1: Bland-Altman plots from the AI photo analysis compared to conventional anthropometry.....	68

LISTA DE TABELAS

Manuscrito I

Table 1: Chronological age and Anthropometric characteristics of the volunteers.....	47
Table 2: The generated equations to predict body fat percentage (%BF).....	47
Table 3: %BF evaluated by DXA and the proposed equations.....	48
Table 4: Metrics of concordance and errors of the proposed equations compared to DXA....	48

Manuscrito II

Table 1: Chronological age and Anthropometric characteristics of the volunteers	57
Table 2: Metrics of concordance and errors of the proposed equations compared to DXA....	59

Manuscrito III

Table 1: Anthropometric measurements of the volunteers obtained by tape measurement and by AI photo analysis, divided by sex.....	67
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

%GC	Percentual de Gordura Corporal
AF	Ângulo de Fase
BIA	Bioimpedância Elétrica
CCC	Coefficiente de Correlação de Concordância
CMO	Conteúdo Mineral Ósseo
DXA	Absorciometria de Raios X de Dupla Emissão
IA	Inteligência Artificial
IMC	Índice de Massa Corporal
MAPE	Erro Percentual Absoluto Médio
MG	Massa Gorda
ML	<i>Machine Learning</i>
MM	Massa Magra
OMS	Organização Mundial da Saúde
R	Resistência
R²	Coefficiente de Determinação
RMSE	Raiz Quadrada do Erro Quadrático Médio
SEE	Erro Padrão das Estimativas
TCLE	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
US	Ultrassom
VC	Visão Computacional
Xc	Reatância

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1 Obesidade.....	18
2.2 COMPOSIÇÃO CORPORAL.....	22
2.2.1 Absorciometria de Dupla Emissão de Raios-X.....	23
2.2.2 Análise de Impedância Bioelétrica.....	24
2.2.3 Ultrassonografia.....	26
2.2.4 Inteligência Artificial, Visão Computacional e Imagem 2-D.....	28
2.3 MODELOS DE REGRESSÃO.....	31
2.4 CONCORDÂNCIA ENTRE MÉTODOS.....	31
3 JUSTIFICATIVA	33
4 OBJETIVOS.....	36
4.1. OBJETIVOS GERAIS.....	36
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	36
5 MATERIAIS E MÉTODOS.....	37
5.1 DESENHO DO ESTUDO E SUJEITOS DA PESQUISA	37
5.2 AVALIAÇÃO ANTROPOMÉTRICA.....	38
5.3 CIRCUNFERÊNCIAS CORPORAIS	38
5.4 ULTRASSOM MODO-A.....	39
5.5 AVALIAÇÃO FOTOGRÁFICA.....	39
5.6 ANÁLISE DE IMPEDÂNCIA BIOELÉTRICA CORPORAL	40
5.7 ABSORCIOMETRIA DE RAIOS-X DE DUPLA ENERGIA	40
5.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA	40
6 RESULTADOS	41
6.1 MANUSCRITO 1	42
6.2 MANUSCRITO 2	54

6.3 MANUSCRITO 3	64
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	71
8 REFERÊNCIAS	73
ANEXOS	83

1 INTRODUÇÃO

A composição corporal pode ser relacionada a quatro componentes principais: água, gordura, proteínas e minerais. Dentre estes, o componente que mais tem chamado a atenção de profissionais da saúde é a gordura corporal. Isto se dá pelo fato de o excesso de gordura corporal estar relacionado ao aumento dos casos de morbidade e mortalidade, além de ser o tecido que mais sofre variação entre indivíduos e ao longo da vida (BORGA, WEST, *et al.*, 2018).

A obesidade pode ser definida pelo acúmulo de gordura corporal e que pode causar prejuízos à saúde. A obesidade pode aumentar o risco de doenças como hipertensão arterial, hipercolesterolemia, hipertrigliceridemia, diabetes Mellitus tipo 2, apneia do sono, doença hepática gordurosa não alcoólica, infarto agudo do miocárdio, acidente vascular cerebral, além de estar associado a alguns tipos de câncer (DE SÁ, DA SILVA, *et al.*, 2021), (ABESO, 2016, SILVA, OLIVEIRA, *et al.*, 2019).

De acordo com a descrição de Bays e Harold (2011) a obesidade é um distúrbio anatômico/funcional patológico do tecido adiposo causado pelo balanço energético positivo em indivíduos com genética e ambiente suscetíveis, resultando em respostas imuno-endócrinas capazes de promover ou agravar um quadro de doença metabólica no indivíduo (BAYS, Harold E, 2011).

A prevalência da obesidade tem aumentado de forma significativa em diversas populações do mundo. Estima-se que aproximadamente 30% da população mundial (2,1 bilhões de pessoas) convivam com a obesidade (ENDALIFER, DIRESS, 2020). No Brasil, esta condição aumentou em 72% na última década, ocasionando aproximadamente 50 mil internações, principalmente de mulheres, no Sistema Único de Saúde no período entre 2018 e 2022, o que foi responsável por um gasto de aproximadamente 257 milhões de reais com hospitalizações decorrentes da obesidade e enfermidades associadas no mesmo período (COSTA, PONCIO, *et al.*, 2023).

O diagnóstico de sobrepeso e obesidade é realizado por meio do cálculo do índice de massa corporal (IMC), definido pela fórmula peso (kg)/altura² (m²). De acordo com a Organização Mundial da Saúde (WHO, 2024), um IMC igual ou superior a 25 kg/m² é classificado como excesso de peso, enquanto um IMC igual ou superior a 30 kg/m² é considerado obesidade. Mesmo com as altas taxas observadas, acredita-se que a obesidade

esteja subestimada no mundo, e que, pelo menos, 30% das pessoas com obesidade não tenham o diagnóstico correto (DE LORENZO, GRATTEI, et al., 2019).

Embora seja um método simples e muito utilizado em estudos epidemiológicos, a classificação da obesidade por meio do IMC possui falhas para avaliações individuais. Pelo fato de considerar somente as medidas do peso e altura, este método desconsidera fatores importantes para a composição corporal como a estrutura óssea, distribuição da gordura corporal, sexo ou a massa muscular. Com isso, possui baixa sensibilidade e especificidade. (ROTHMAN, 2008).

Para uma classificação mais precisa do grau de obesidade, além do IMC, é importante a avaliação da composição corporal, sendo o percentual de gordura corporal (%GC) um dos parâmetros utilizados. Apesar de ser proposto o ponto de corte de 25% de gordura corporal para homens e 30% para mulheres (SILVA, OLIVEIRA, *et al.*, 2019), não há consenso na literatura sobre a origem e validade destes valores que são constantemente questionados. Além disso, há uma dificuldade considerável em avaliar com precisão a composição corporal deste grupo populacional a partir dos métodos disponíveis (HO-PHAM, CHI, et al., 2011, SILVA, OLIVEIRA, et al., 2019, SNITKER, 2010). Limitações relacionadas a mudanças na composição da massa livre de gordura e no estado de hidratação, assim como limitações na capacidade dos equipamentos utilizados e a precisão das medidas coletadas são exemplos de como a acurácia da avaliação da composição corporal pode estar comprometida em indivíduos com obesidade (BERNHARD, SANTO, et al., 2016).

Os métodos de avaliação da composição corporal podem ser classificados em diretos, indiretos e duplamente indiretos. É considerado como método direto a completa dissecação de cadáveres e a pesagem de tecidos corporais, que não se aplica a indivíduos vivos. Entre os métodos indiretos, a absorciometria de raios X de dupla energia (DXA) é capaz de avaliar parâmetros de composição corporal por meio de imagens radiológicas. Os métodos duplamente indiretos como impedância bioelétrica (BIA), antropometria e ultrassom (US) modo-A, se utilizam de equações derivadas de métodos indiretos para estimar a composição corporal (MARTIN, DRINKWATER, 1991).

Embora seja um método com alta acurácia para avaliação do conteúdo mineral ósseo, da massa magra e da massa gorda (CHAVES, GONÇALVES, *et al.*, 2022), a DXA é um método dispendioso e requer um técnico em radiologia para aquisição dos dados, o que a tornam inviável para o uso diário na prática clínica e em estudos populacionais (LEMONS, GALLAGHER, 2018). Devido a essas limitações, há uma crescente necessidade de explorar

métodos de composição corporal mais acessíveis. Dentre estes, a antropometria, BIA e US modo-A são analisadores simples, portáteis, menos dispendiosos, de fácil transporte e inserção na rotina clínica (HOLMES, RACETTE, 2021), porém, com menor acurácia quando comparados à DXA. Recentemente, com o avanço da tecnologia, a utilização da visão computacional (VC) e inteligência artificial (IA) permitiu a utilização de imagens bidimensionais (2D) para avaliar a composição corporal oferecendo uma alternativa potencialmente viável (ALVES, OHATA, *et al.*, 2023), sem pretender substituir outros métodos relacionados a composição corporal.

Os métodos duplamente indiretos são geralmente menos precisos, carecem de exatidão, e podem produzir erros de estimativa dentro de limites aceitáveis quando comparados com métodos mais precisos em indivíduos eutróficos (GUEDES, 2013). Indivíduos com obesidade apresentam desafios específicos que podem comprometer a precisão dos resultados. A antropometria em indivíduos com obesidade tende a apresentar maior erro nas medidas devido à dificuldade de se encontrar os pontos anatômicos necessários (WILLIAMSON, BLANE, *et al.*, 2023). A BIA pode apresentar variações significativas na estimativa do %GC em indivíduos obesos devido às alterações na hidratação e na distribuição de líquidos corporais (KYLE, BOSAEUS, *et al.*, 2004). A avaliação da composição corporal com o US modo-A em indivíduos com obesidade pode ser promissora, apresentando como vantagem uma menor compressão do tecido, ao não realizar as dobras cutâneas. Entretanto os estudos com essa população ainda são limitados, destacando a necessidade de mais pesquisas nessa área principalmente voltadas para a validação da aplicabilidade na avaliação de indivíduos com obesidade. (SIZOO, DE HEIDE, *et al.*, 2020, WAGNER, 2013).

De acordo com (VILALTA, GUTIÉRREZ, *et al.*, 2022), o desenvolvimento de novas abordagens no tratamento clínico de pacientes com obesidade, diabetes e síndrome metabólica, dependem do desenvolvimento de métodos de avaliação da gordura corporal que apresentem alta acurácia e reprodutibilidade.

Neste contexto, desenvolver e validar métodos alternativos de composição corporal para indivíduos com obesidade que possam ser amplamente utilizados na prática clínica e na pesquisa em saúde são fundamentais para garantir avaliações precisas e reprodutíveis da composição corporal nessa população específica. Este estudo busca desenvolver e validar equações baseadas em dados obtidos a partir de métodos acessíveis como antropometria, BIA, US, e imagem 2D por foto, comparando-os ao modelo de referência científica (DXA). O

objetivo é aprimorar as equações existentes dos métodos avaliados, proporcionando soluções práticas para a avaliação da composição corporal. A hipótese é que ao validar métodos alternativos, espera-se ampliar o acesso a avaliações de composição corporal precisas, práticas e seguras em indivíduos com obesidade, beneficiando a prática clínica e a pesquisa em saúde.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 OBESIDADE

Os primeiros registros na história que se tem conhecimento acerca de pessoas com obesidade, datam de 24 mil anos, a escultura do período neolítico conhecida como “Vênus de Willendorf” é um dos exemplares mais famosos deste período. O pequeno busto representa uma mulher com características corporais avantajadas. Alguns estudiosos sugerem que possa se tratar de uma representação de uma divindade voltada à fertilidade e abundância (CHRISTOPOULOU-ALETRA, PAPAVERAMIDOU, et al., 2006).

Na era greco-romana, Hipócrates e Galeno descreveram suas visões sobre a obesidade as quais basearam diversas publicações e condutas deste período. As recomendações da época já consideravam a combinação de exercícios e dieta, além de banhos, massagens e chás com ervas diuréticas, nota-se, portanto, que já havia a busca por tratamento para indivíduos com esta condição e que já se relacionavam ao consumo de alimentos e inatividade física. As descrições de Galeno para a dieta sugerida ao emagrecimento incluem vinho, vegetais, cereais, peixe e carnes de porco ou cordeiro, e se assemelham em diversos pontos a dieta mediterrânea. (PAPAVERAMIDOU, CHRISTOPOULOU-ALETRA, 2007) Durante a idade média e renascença a obesidade foi considerada como status e símbolo de abundância e riqueza, visão que só mudou na sociedade moderna com as investigações sobre excesso de peso e sua correlação com desfechos negativos de saúde. (LUSTIG, FENNOY, 2022)

Manter certo percentual de gordura corporal durante diferentes fases da vida se mostrou importante através da evolução humana, seja para o adequado armazenamento energético utilizado para a sobrevivência em tempos de escassez de alimentos, para a proteção da perda de calor em ambientes mais frios ou para o desenvolvimento e reprodução dos indivíduos. Na busca sobre as origens da obesidade ao longo da evolução humana, diversas teorias foram propostas. (GENNÉ-BACON, 2014)

Dentre elas a teoria mais aceita é do geneticista James Neel, sua teoria principal busca explicar a alta prevalência de diabetes e obesidade na sociedade moderna. Neel descreve que enquanto os humanos viviam em sociedades de caçadores coletores em que se alternavam períodos de alimentação abundante e escassez de alimentos, os indivíduos que detinham maior estoque energético se saíam melhor nos momentos de escassez e tinham maior chance de se reproduzir. Portanto a evolução teria se encarregado de selecionar genes que

garantissem maior acúmulo de energia no corpo, sob a forma de gordura, para garantir a sobrevivência nos períodos de escassez. No entanto na sociedade moderna, com uma realidade bem diferente da descrita durante maior parte da evolução humana, de acordo com esta teoria, o corpo se prepara para uma escassez alimentar que nunca vem, e assim a evolução adaptativa se tornou uma adaptação negativa ao gerar um acúmulo de gordura corporal capaz de trazer prejuízos. (GENNÉ-BACON, 2014, NEEL, 1962)

O paradigma do balanço energético considera o acúmulo de gordura como um resultado positivo da subtração entre energia ingerida e energia gasta. Esta é uma forma genérica de justificar o acúmulo de gordura corporal que não explica a razão pela qual alguns indivíduos são mais propensos ao acúmulo de gordura do que outros. A má interpretação deste conceito levou a simplificação dos processos metabólicos envolvidos e uma estigmatização dos indivíduos com obesidade tidos como preguiçosos e glutões. No entanto a obesidade se caracteriza por uma condição que se desenvolve a partir de diversos fatores como rotina alimentar, inatividade física, fatores psicológicos e genéticos (ARCHER, HILL, 2022, ABESO, 2016).

Os riscos à saúde associados ao acúmulo de gordura corporal (GC) apresentam maior relação com a distribuição de gordura em locais específicos do que com a GC total. Os principais locais de acúmulo de gordura são o tecido adiposo subcutâneo (superficial e profundo) e o tecido adiposo visceral. Indivíduos com maiores quantidades de gordura visceral apresentam maiores riscos de desenvolver doenças metabólicas, cardiovasculares, doença hepática não alcoólica, e diabetes tipo 2 do que indivíduos com gordura subcutânea (FOX, MASSARO, et al., 2007, LIU, FOX, et al., 2010). O maior risco para desenvolvimento de doenças metabólicas e cardiovasculares observados no acúmulo de gordura visceral pode ser explicado pelas diferenças anatômicas e fisiológicas entre os tecidos adiposos subcutâneo e visceral (IBRAHIM, 2010).

Os adipócitos do tecido adiposo profundo podem ser identificados através de técnicas como a ressonância magnética ou ultrassom, possuem maior atividade lipolítica, e contribuem substancialmente para os níveis de ácidos graxos livres séricos. Tem-se sugerido que o tecido adiposo profundo apresente características intermediárias entre o tecido adiposo subcutâneo superficial e o tecido adiposo visceral (CANCELLO, ZULIAN, et al., 2013).

O índice mais utilizado para análise populacional de obesidade é o IMC. Originalmente chamado de Índice de Quetelet, o IMC é a razão entre peso e altura e foi proposta em 1832. No entanto, Quetelet não tinha interesse no estudo da obesidade e sim na

identificação das características do homem comum. Após sua participação em diversos estudos populacionais na Europa no fim do século XIX, Quetelet publicou uma série de trabalhos entre 1832 e 1835 em que descreve suas observações sobre as relações matemáticas do corpo e do crescimento do homem em diferentes fases de vida, em que observa: "Caso o homem se desenvolvesse de forma semelhante em todas as dimensões em diferentes fases da vida assim como se observa nos primeiros anos de vida e durante a puberdade, o peso corresponderia ao cubo da altura. No entanto, o peso cresce mais lentamente correspondendo a aproximadamente o quadrado da altura." O termo IMC foi cunhado em 1972 por pesquisadores americanos após testes de validação da relação proposta por Quetelet (EKNOYAN, 2008).

Outras abordagens de classificação da obesidade foram propostas ao longo dos anos como as tabelas do *Metropolitan Life Insurance Company*. Este estudo propôs os pesos considerados ideais para cada altura ajustados pelo tamanho corporal (pequeno, médio ou grande) tendo em vista dados atuariais sobre a expectativa de vida da população americana da década de 50 (GARVEY, 2019).

A Organização mundial da saúde (OMS) adotou o IMC como método de classificação clínico e epidemiológico em 1998, incluindo a proposta dos pontos de corte utilizados até hoje. Indivíduos com valores de IMC iguais ou superiores a 30 kg/m² são classificados como obesos. Através do valor do IMC se pode classificar ainda o grau de obesidade, no qual o grau 1 corresponde a valores de IMC entre 30 e 34.9 kg/m², obesidade grau 2 compreende a faixa entre 35 e 39.9 kg/m², e a classificação de grau 3 é dada quando o IMC atinge valores superiores a 40 kg/m² (GARVEY, 2019, RANILOVIC, 2019).

Embora o IMC seja o principal método de classificação para a obesidade, estudos mostram a importância de avaliar a composição corporal, demonstrando que, o percentual de gordura elevado apresenta correlação com desfechos clínicos negativos, como aumento da resistência à insulina (ZEGARRA-LIZANA, RAMOS-OROSCO, *et al.*, 2019) e elevação de aldosterona, uma das causas mais frequentes de hipertensão arterial secundária, (MANOSROI, ATTHAKOMOL, 2020), risco cardiovascular, síndrome metabólica, doenças pulmonares e alterações no perfil lipídico como elevado colesterol e LDL e baixo HDL (BRAGANÇA, OLIVEIRA, *et al.*, 2020, CHEN, KAO, *et al.*, 2019), independente do IMC.

Dadas as limitações apontadas pela classificação pelo IMC, sugere-se o uso de outras medidas antropométricas simples relacionadas adiposidade, para classificar indivíduos com obesidade como o perímetro do pescoço (PP), perímetro da cintura (PC), a razão cintura-

quadril (RCQ), razão cintura-estatura (RCE), ou o índice de conicidade (IC).(BOREL, COUMES, et al., 2018, PITANGA, 2011)

O perímetro da cintura (PC) é utilizado como indicador de gordura intra-abdominal. Valores de PC indicativos de risco cardiovascular e metabólico são considerados elevados quando atingem ≥ 102 cm em homens e ≥ 88 cm em mulheres (WHO, 1998). A razão cintura-quadril (RCQ) é usada como uma medida substituta para identificar a distribuição de gordura corporal, indicando onde a gordura é armazenada. O excesso de gordura na região central do corpo, ou perfil androide, é tipicamente característico em homens, enquanto o excesso de gordura localizado nos quadris e coxas, ou perfil ginoide, é mais comum em mulheres. Uma alta RCQ sugere um risco aumentado de problemas de saúde relacionados à obesidade e risco cardiometabólico. A RCQ é calculada dividindo-se o PC pelo perímetro do quadril, sendo os indicadores de risco $\geq 1,0$ para homens e $\geq 0,85$ para mulheres (WHO, 1998, (PITANGA, 2011). Portanto, embora o aumento da gordura corporal reduza a precisão destas medidas, tanto o PC quanto a RCQ podem ser valiosos para avaliar a distribuição de gordura e os riscos associados à obesidade.

O perímetro de pescoço (PP) tem sido estudado como uma medida alternativa da gordura central apresentando associações similares com fatores de risco metabólicos comparado a outras medidas como o PC. A medida é realizada no eixo horizontal, com o indivíduo sentado, logo abaixo da proeminência laringeal. Não há na literatura um consenso quanto aos pontos de corte, havendo diferentes propostas de acordo com o sexo, etnia e idade (JOSHIPURA, MUÑOZ-TORRES, et al., 2016, KROLL, MASTROENI, et al., 2017)

A razão cintura-estatura é utilizada como um índice antropométrico simples na previsão de risco cardiovascular, gordura visceral e condições de saúde relacionadas, para isso, é indicado que o PC não deva ultrapassar a metade da estatura. Esta medida está relacionada a identificação da gordura corporal e risco de doenças cardiovasculares com as vantagens de apresentar um único ponto de corte para toda a população, e por resultar em uma estimativa não enviesada pela estatura (ASSUMPCÃO, FERRAZ, et al., 2020, CARVALHO, FRANÇA, et al., 2023).

Índice de Conicidade (IC): Proposto na década de 90, utiliza como variáveis o peso, a estatura e a CC. Esta proposta se baseia na idéia de que pessoas com maior adiposidade abdominal apresentam a forma corporal como dois cones com base comum, e indivíduos que apresentam menor quantidade de gordura na região central apresentariam aparência de um cilindro como demonstrado na Figura 1.

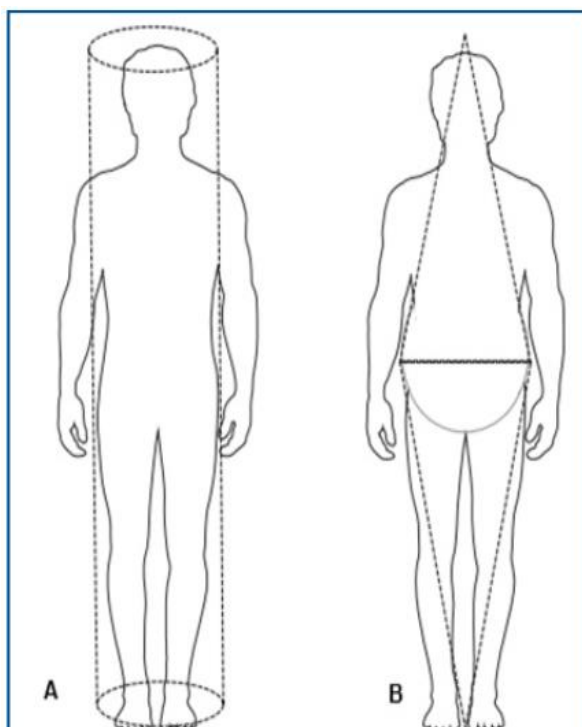


Figura 1: Visão de um indivíduo sem acúmulo de gordura na região central do corpo (A), apresentando um formato corporal semelhante a um cone, e um indivíduo com gordura acumulada na região central (B), de acordo com o conceito do índice de conicidade. Fonte: (SALAROLIA, MARTINS, 2022)

Em uma abordagem mais recente, YANG, *et al*, 2020, propuseram um novo índice considerando fatores antropométricos e demográficos capaz de prever o percentual de gordura corporal avaliado por DXA. Após avaliarem 87 indivíduos com sobrepeso, de ambos os sexos, concluiu que das variáveis observadas as que apresentaram maior correlação com o percentual de gordura corporal avaliado por DXA foram raça, idade, sexo, altura, peso e circunferência da cintura.

2.2 COMPOSIÇÃO CORPORAL

A antropometria que se define pela coleta e correlação das medidas corporais, incluindo altura, peso, tamanho e forma corporal, é necessária como base para o acompanhamento da saúde de um indivíduo, pois suas medidas se correlacionam com o estado de saúde e pode indicar previamente o surgimento de doenças, assim como relacionar-

se com a atividade ou inatividade física, norteando as intervenções necessárias para a manutenção ou evolução da qualidade de vida (TUR, BIBLIONI, 2019).

O termo composição corporal refere-se à distribuição e quantidade dos componentes da massa total do corpo. As informações sobre composição corporal (CC) foram obtidas através da análise química de órgãos e dissecação de cadáveres, permitindo a quantificação de gordura, água, minerais e proteínas corporais, fornecendo dados de referência para modelos de CC (HUME; ACKLAND, 2017, WANG et al., 2002).

O modelo de composição corporal humana proposto por Wang et al. (1992) é dividido em cinco níveis: atômico, molecular, celular, tecidual e corpo inteiro. No nível atômico, a massa corporal é composta principalmente por oxigênio, carbono, hidrogênio, nitrogênio, cálcio e fósforo, representando mais de 98% do peso corporal. O nível molecular inclui água, lipídios, proteínas, carboidratos, minerais ósseos e dos tecidos moles. O nível celular abrange sólidos extracelulares, água extracelular e células. O nível tecidual divide o corpo em músculo esquelético, tecido adiposo, vísceras, ossos e órgãos sólidos. O nível do corpo inteiro considera o corpo como uma unidade e pode ser dividido em regiões como apêndices, tronco e cabeça, frequentemente descritas por medidas antropométricas (WANG; PIERSON; HEYMS, 1992)

É possível analisar os métodos de avaliação da composição corporal de acordo com os modelos de avaliação e os compartimentos que são capazes de prever. O modelo de um compartimento (1C), é uma abordagem mais simples e se fazem inferências sobre os riscos de saúde a partir de medidas simples como peso, altura. O modelo de dois compartimentos (2C) divide o peso corporal em massa gorda e massa livre de gordura. Os modelos de três compartimentos (3C), inclui um terceiro componente dividindo a massa livre de gordura em massa magra e conteúdo mineral ósseo, um dos métodos 3C mais utilizados é a absorciometria de dupla emissão de raios-x (DXA). Considera-se a combinação de diferentes modelos como um modelo de quatro compartimentos (4C), permitindo a divisão da massa corporal em gordura, conteúdo mineral, massa corporal total e proteína residual, reduzindo a necessidade de inferências assim como observados em modelos mais simples (VILALTA, GUTIÉRREZ, et al., 2022).

2.2.1 Absorciometria de Dupla Emissão de Raios-X

A DXA é um método que divide o corpo em três compartimentos, sendo: conteúdo mineral ósseo, massa magra (MM) e massa gorda (MG). Este método se baseia no princípio de que raios x de diferentes energias são atenuados de maneira diferente quando passam pelos diversos tecidos do corpo humano. Ao radiar o corpo na direção anteroposterior usando duas energias diferentes, e assumindo um modelo de dois compartimentos em cada ponto de medida (pixel), a imagem pode ser construída. O modelo de dois compartimentos assume que em cada pixel que não contém massa óssea depende de uma proporção entre massa gorda e massa magra, assim como pixels que contenham massa óssea dependem da densidade mineral óssea e a proporção entre tecidos moles com interpolação de massa magra e gorda baseados nos pixels vizinhos a pixels que não contenham tecido ósseo (PONTI, SANTORO, et al., 2020).

Inicialmente a DXA foi um método desenvolvido para análise da massa óssea, no entanto, apresenta elevada acurácia na avaliação também da massa muscular e massa gorda quando comparada a métodos considerados padrão ouro para a avaliação de tecidos moles como a tomografia computadorizada (BREDELLA, GHOMI, *et al.*, 2010). Embora os resultados da DXA possam sofrer variações de acordo com o estado de hidratação (DEVITA, STALL, 1999) e espessura corporal do paciente (LAFORGIA, DOLLMAN, *et al.*, 2009), avanços tecnológicos nos softwares utilizados vem sendo aplicados visando aumentar a acuracidade do método e reduzir os erros na estimativa da composição corporal (LASKEY, PHIL, 1996). Sendo assim, versões mais recentes dos equipamentos e softwares são capazes de estimar a gordura visceral e a composição corporal de indivíduos com obesidade (BAZZOCCHI, PONTI, *et al.*, 2016, ROTHNEY, BRYCHTA, *et al.*, 2009).

2.2.2 Análise de Impedância Bioelétrica

As propriedades elétricas dos tecidos são estudadas desde 1871, mas as evidências sobre o funcionamento da bioimpedância apareceram somente em 1970. A BIA é um método não invasivo, rápido e indolor que se baseia na passagem de uma corrente elétrica de baixa intensidade através do corpo, sendo os tecidos com maior teor de água os melhores condutores. O tecido adiposo contendo 80% de gordura é um mal condutor de corrente elétrica e apresenta maior resistência (R) quando comparado à massa magra, que pode conter 73% de água em condições estáveis. As oposições dos tecidos corporais à passagem da

corrente elétrica determinam a funcionalidade da BIA, que é denominada impedância (Z) (SOSSOU, DA SILVA, et al., 2022).

A impedância se constitui basicamente de dois componentes bioelétricos: Resistência (R) e Reatância (Xc), sendo que a R está relacionada a oposição ao fluxo da corrente elétrica através dos meios intra e extracelular do corpo, sendo diretamente associado ao nível de hidratação desses meios. A Xc está relacionada a oposição ao fluxo causada pela capacitância produzida pela membrana celular. Os diversos modelos de BIA disponíveis no mercado se diferenciam pela posição, região do corpo em que se aplicam os eletrodos, quantidade de eletrodos, e pela frequência empregada. Em BIAs monofrequenciais a frequência é de 50 kHz, já em equipamentos multifrequenciais podem ser encontradas frequências que variam de 1 a 5 kHz a até 1000 kHz (SOSSOU, DA SILVA, et al., 2022).

A BIA multifrequencial pode ser capaz de estimar a água corporal total, massa magra, massa de gordura e os volumes de água intra e extracelular. As frequências mais baixas (< 50 kHz) não têm a capacidade de atravessar a membrana celular e sua resposta está relacionada ao líquido extracelular sendo os demais volumes estimados por cálculos que consideram as concentrações convencionais de água nos diferentes compartimentos corporais. As frequências mais altas > 50 kHz, são capazes de atravessar a membrana celular e estão relacionadas tanto ao líquido extra quanto intracelular (MARRA, SAMMARCO, et al., 2019).

A maior limitação das estimativas de composição corporal através da BIA se dá pelo fato de que a premissa do método é que o corpo mantém a hidratação constante (73%). No entanto, condições fisiológicas e patológicas como etnia e obesidade, respectivamente, podem interferir no volume e distribuição da água corporal. A água extracelular tende ser maior em indivíduos com obesidade, este efeito é diretamente proporcional ao IMC (COPPINI, WAITZBERG, et al., 2005).

Em condições em que há alterações no estado de hidratação como observados em indivíduos com obesidade, geralmente hipohidratados, tem se buscado observar o valor de ângulo de fase (AF). O ângulo de fase é uma representação gráfica do atraso da corrente elétrica ao percorrer os tecidos corporais. Este atraso é gerado pela capacitância das membranas celulares e o ângulo de fase possui a vantagem de ser calculado diretamente a partir dos valores de R e Xc não sofrendo influência de equações da composição corporal ou do estado de hidratação. O AF pode ser considerado um índice de massa e integridade celular onde valores mais altos de AF sugerem um indivíduo com boa saúde celular (MATTIELLO, ZIEGELMANN, 2020, WARD, BRANTLOV, 2023).

Em uma revisão sistemática acerca de equações criadas a partir de BIA para análise da massa magra (BEAUDART, BRUYÈRE, et al., 2020), observaram que a maioria dos estudos analisados desenvolveram equações tendo como sujeitos indivíduos norte americanos ou europeus eutróficos e saudáveis, deixando outros grupos populacionais em necessidade de equações específicas. Destacou-se também que estudos que incluíram mais variáveis na equação conseguiram responder uma parte maior das variações na medida de massa magra por BIA, sendo o índice de resistência, fatores sociodemográficos (idade e sexo) e medidas antropométricas (peso e altura), as variáveis mais usadas (BEAUDART, BRUYÈRE, et al., 2020).

2.2.3 Ultrassonografia

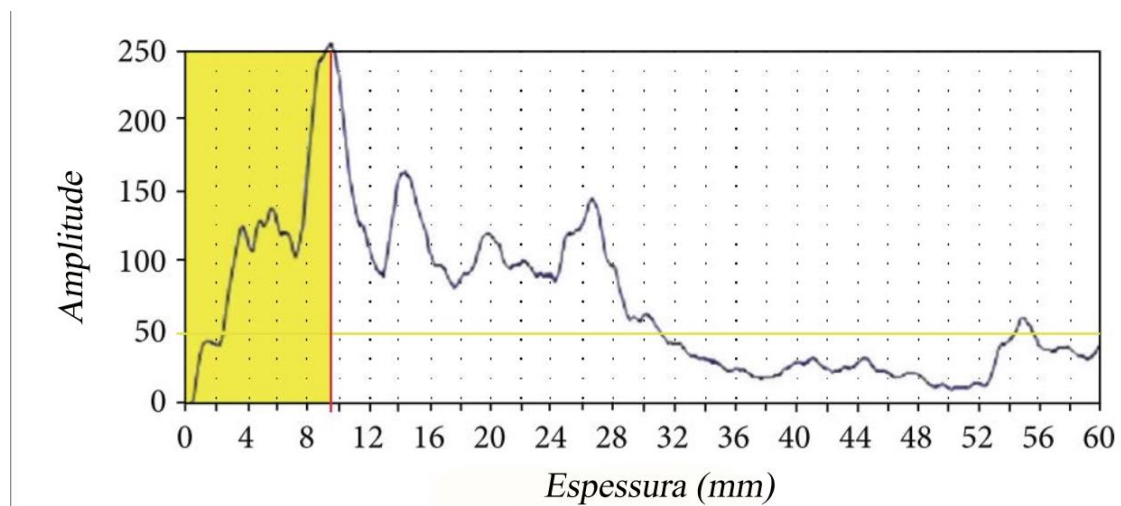
A avaliação da composição corporal por US modo-A foi desenvolvida há mais de 50 anos, no entanto ainda é pouco utilizada na prática clínica e carece de protocolos padronizados principalmente para populações específicas. O US pode ser um método eficaz para a avaliação da composição corporal, possuindo boa correlação com o DXA e melhor desempenho em relação às dobras cutâneas para o acesso da gordura subcutânea em indivíduos obesos (WAGNER, Dale. R., 2013)

O princípio fundamental da formação de imagem através do US é o reflexo das ondas de US pelos tecidos na passagem do feixe. O ultrassom opera em uma frequência > 20 kHz e frequências > 2 MHz são usadas para gerar imagens. Para a avaliação, um feixe de ultrassom é transmitido através da pele e quando o feixe entra em contato com a interface dos tecidos, reflete como um eco. O som refletido depende das mudanças na impedância acústica na interface entre dois tecidos. O ar praticamente não apresenta impedância acústica, enquanto o tecido adiposo e muscular apresentam impedâncias de $0,138$ g/cm/s e $0,170$ g/cm/s respectivamente, e o tecido ósseo apresenta alta impedância ($0,78$ g/cm/s) (WAGNER, Dale. R., 2013).

Existem dois modelos de ultrassonografia disponíveis na prática clínica, um modelo utiliza a modulação de amplitude (*A-mode*) enquanto o outro utiliza a modulação de luminosidade (*B-mode*), um exemplo de ambos os modelos estão representados na Figura 1. O *A-mode* consiste na formação de um gráfico onde o eixo x representa a profundidade e o eixo y a amplitude, já o *B-mode* é capaz de gerar uma imagem 2-D ao combinar sinais *A-mode* de diversas direções. A luminosidade irá variar dependendo da amplitude ou intensidade do eco do ultrassom. Embora seja usado apenas para avaliação da composição

corporal o *A-mode* possui as vantagens de ser menor, portátil e custar cerca de 5% de um modelo *B-mode*, e como desvantagens possui pior qualidade de imagem e não permite observação da estrutura em movimento, podendo dificultar a identificação das estruturas anatômicas (WAGNER, D.R., TERAMOTO, et al., 2020, WAGNER, Dale. R., 2013). Além de empregar equações preditivas de medidas antropométricas.

A



B

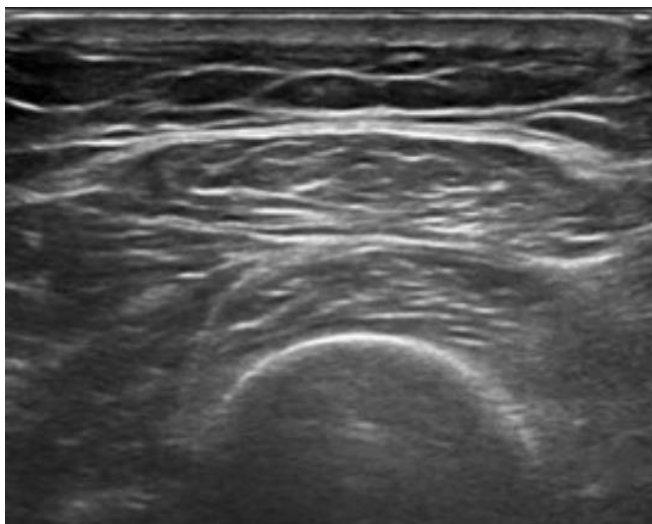


Figura 2: A: Ultrassom modo-A, fonte: adaptado de WAGNER, 2013; B: Ultrassom modo-B Fonte: (PONTI, CINQUE, *et al.*, 2020).

Quando comparados, ambos os modelos apresentam boa concordância ao avaliar a espessura da camada de gordura subcutânea (WAGNER, D.R., TERAMOTO, *et al.*, 2020), no entanto, o US *A-mode* pode subestimar a massa muscular em relação ao *B-mode* para indivíduos treinados (KUEHNE, YITZCHAKI, *et al.*, 2019).

O equipamento de ultrassonografia modo-A, também é capaz de gerar imagens, o software (BodyView, IntelMetrix, Califórnia, USA) assume um coeficiente de reflexão acústica de 0,012 para a interface gordura-músculo e 0,22 para a interface músculo-osso. A amplitude dos ecos sonoros são representados pela luminosidade na imagem. Reflexões fortes aparecem como pontos brancos, reflexões mais fracas como pontos cinzas e pontos que não ecoam como pontos pretos na imagem. As interfaces (pele-gordura, gordura-músculo e músculo-osso) aparecem como faixas contínuas de luz clara, como representado na Figura 2. As imagens obtidas são armazenadas pelo software e podem ser avaliadas posteriormente (WAGNER, Dale. R., 2013).

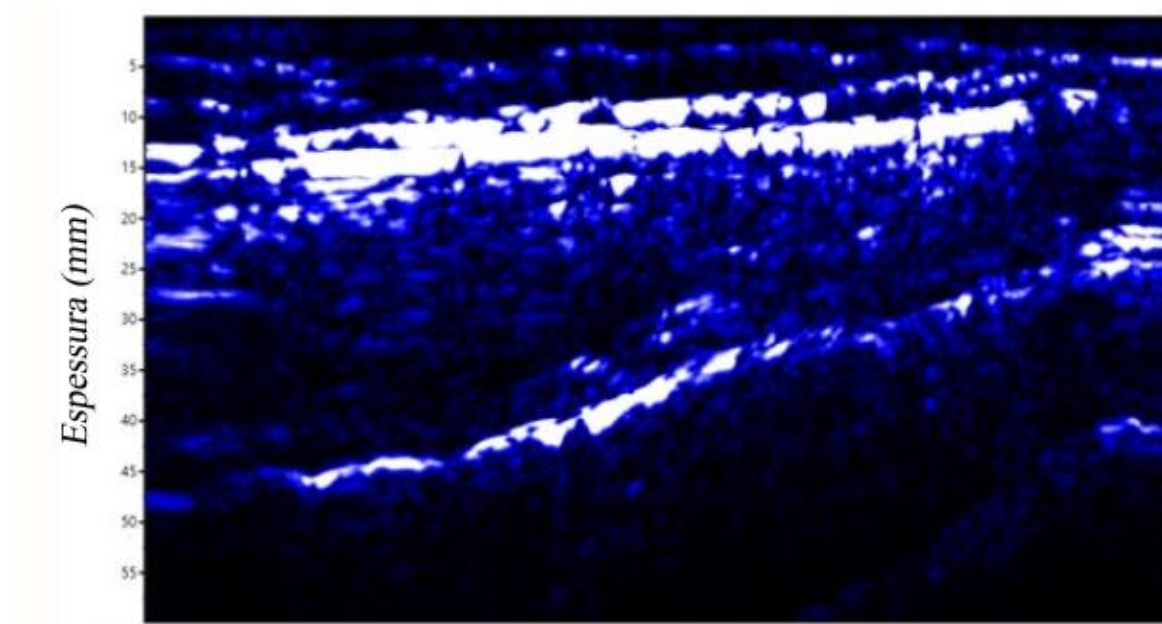


Figura 3: Imagem de ultrassonografia modo-A. Fonte: imagem do Autor.

Apesar de representar uma alternativa viável, as imagens geradas através do equipamento de ultrassonografia modo-a possuem algumas limitações; as imagens são estáticas e não permitem a observação do tecido em movimento; as imagens possuem qualidade inferior dificultando a identificação de pontos de interesse (KUEHNE, YITZCHAKI, et al., 2019)

2.2.4 Inteligência Artificial, visão computacional e imagem 2D

IA pode ser definida como um sistema que pode imitar a cognição humana para cumprir tarefas ou pode ser visto como um sistema capaz de usar dados para auxiliar, guiar ou influenciar suas ações.

O ML pode ser entendido como um sistema ou algoritmo capaz de aprender e aprimorar uma tarefa por meio do uso de dados inseridos.

Já a VC é uma técnica utilizada para analisar imagens sendo capaz de identificar e mensurar sinais, podendo estimar medidas e classificar objetos.

A possibilidade de criar redes neurais capazes de segmentar uma imagem ao nível de pixels, apresenta boa oportunidade para a criação de ferramentas precisas de análise da composição corporal por imagens (WANG, TORRIANI, 2020).

O primeiro passo no treinamento de um algoritmo de ML consiste na preparação de imagens marcadas com a identificação de todos os tecidos que o algoritmo deve identificar

após o treinamento. As imagens são separadas para formar um grupo de treinamento e pequenos grupos para testes de validação. Diversas redes neurais com pequenas diferenças estruturais são treinadas ao mesmo tempo e as que apresentarem melhor desempenho nas fases de validação são selecionadas. Para avaliar a acurácia do modelo final, este é aplicado a um banco de imagens nunca utilizado. Geralmente os modelos de ML apresentam um desempenho abaixo do esperado para imagens com grandes alterações em relação às imagens usadas para o treinamento (HIGGINS, MARQUARDT, *et al.*, 2021).

A precisão das medidas realizadas através da análise de imagens por VC depende não somente de um bom treinamento do sistema a partir da utilização de diversos modelos de regressão, mas também de uma precisa segmentação corporal na imagem analisada. Quanto mais precisa a etapa de segmentação, melhor será a acurácia do método de avaliação por fotos ao ser comparado a métodos de avaliação antropométricos convencionais (SOUZA, João W M de, HOLANDA, *et al.*, 2020). Além disso, (ALVES, OHATA, *et al.*, 2021) descreveram melhores resultados de avaliação da composição corporal por fotos a partir de diferentes equações para homens e mulheres.

De acordo com (SOUZA, João W M de, HOLANDA, *et al.*, 2020) inicialmente são necessárias as 4 fotos para que se tenha uma visão completa do corpo a ser avaliado. É importante, no momento da avaliação além das vestimentas adequadas e o posicionamento corporal, a inclusão da correta medida de estatura do avaliado, assim se faz possível a criação de uma escala de relação entre pixel e centímetros. O sistema empregado se utiliza da combinação de diferentes modelos de aprendizado de máquina na análise das imagens para se obter as medidas corporais (Figura 4). O primeiro modelo empregado foi desenvolvido para identificar e destacar o corpo humano do restante de uma foto através da análise por pixels. Um segundo modelo realiza marcações internas e externas assim como a marcação de pontos-chaves para a identificação mais precisa dos limites corporais.

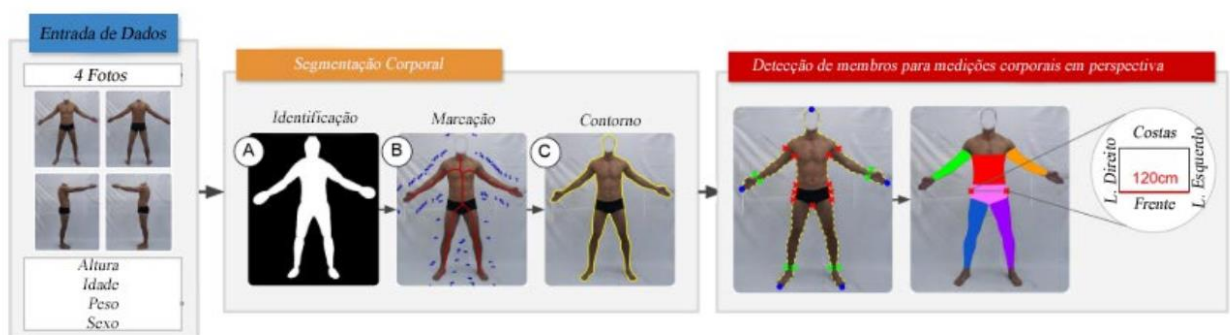


Figura 4: Passo a passo do processamento de imagens pelo sistema de inteligência artificial.

Na primeira etapa são inseridas no sistema as quatro fotos e dados de altura, idade, peso e sexo. Na segunda etapa diferentes modelos são utilizados para (A) a identificação do corpo na imagem, (B) a marcação interna e externa de pontos corporais, (C) a união dos pontos para gerar o contorno. As regiões corporais são então identificadas e o cruzamento de dados entre pontos nas 4 fotos permite a formação da área inicial de cada região a ser medida. Adaptado de (ALVES, OHATA, *et al.*, 2023)

Após o processo de separação das diferentes sessões corporais, os cortes apresentam um formato geométrico quadrangular. É necessário a aplicação de um modelo de regressão que transforme os formatos 2D em 3D aproximando cortes em formato quadrilátero para o formato corporal. Esse processo leva em consideração diferentes planos para cada região avaliada como demonstrado na figura 5.

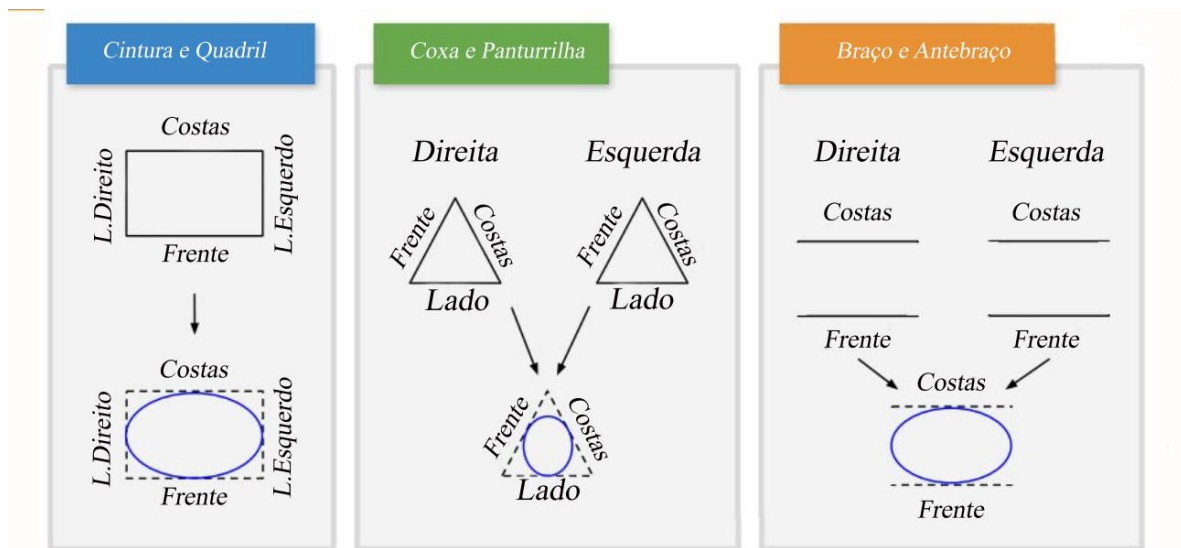


Fig. 5: Para uma aproximação do formato corporal foram utilizados diferentes perspectivas em cada região. Para as medidas do tronco foram necessárias as 4 perspectivas. Para as pernas três perspectivas foram utilizadas, frente, costas e o lado a ser avaliado. Para os braços foram necessárias apenas duas perspectivas, das fotos de frente e costas. Adaptado de (ALVES, OHATA, *et al.*, 2023)

2.3 Modelos de Regressão

A análise de regressão é realizada quando o objetivo é determinar a correlação entre uma ou mais variáveis, com relação causa-efeito, e para realizar previsões através das relações observadas na tentativa de compreender as causas das variações em dados coletados.

A regressão pode ser classificada como univariada, quando inclui apenas uma variável independente, ou multivariada, quando inclui mais de uma variável independente para analisar a variável dependente. A validade do modelo de regressão gerado é comumente avaliada através da análise do coeficiente de determinação (R^2), um modelo estatístico capaz de representar a proporção de variância explicada pelo modelo (NAKAGAWA, JOHNSON, *et al.*, 2017, UYANIK, NESE, 2013)

O R^2 avalia o modelo de regressão medindo a proporção da variabilidade da variável dependente que é explicada pelos preditores incluídos no modelo. O valor de R^2 varia entre 0 e 1, e quanto mais próximo de 1 indica que uma maior parte da variabilidade dos dados é explicada pelo modelo, o que sugere um bom ajuste. Por outro lado, um valor de R^2 mais próximo de 0 indica que o modelo não está explicando bem a variabilidade dos dados. Portanto, quanto mais próximo de 1 for o valor de R^2 , melhor é o ajuste do modelo de regressão (LINDSEY, SHEATHER, 2010).

2.4 Concordância entre métodos

Ao comparar dois métodos de avaliação em busca de medir a confiabilidade e reprodutibilidade, deve-se levar em conta que todo método apresenta algum grau de erro, sendo assim, torna-se interessante avaliar a correlação e o grau de concordância. A correlação aponta se há uma relação linear entre os dados, não significando que os valores concordam entre si. Uma das formas de representar a concordância entre métodos é através do gráfico de Bland-Altman. (GIAVARINA, 2015).

O gráfico é formado por um eixo X em que se representa a média das medidas realizadas em ambos os métodos a serem comparados, e um eixo Y onde se representa a diferença entre as medidas, gerando um gráfico de dispersão onde cada ponto representa um indivíduo avaliado (Figura 2). O eixo Y também pode representar a diferença percentual entre os valores, importante como uma forma de equalizar a diferença pelo tamanho da medida. O método apresenta a média das diferenças dos valores observados entre os métodos, chamado de *bias*, e os limites de concordância traçados em $+1,96$ e $-1,96$ desvios padrão do *bias* em que se recomenda que 95% de todos os dados estejam contidos nesta área (GIAVARINA, 2015).

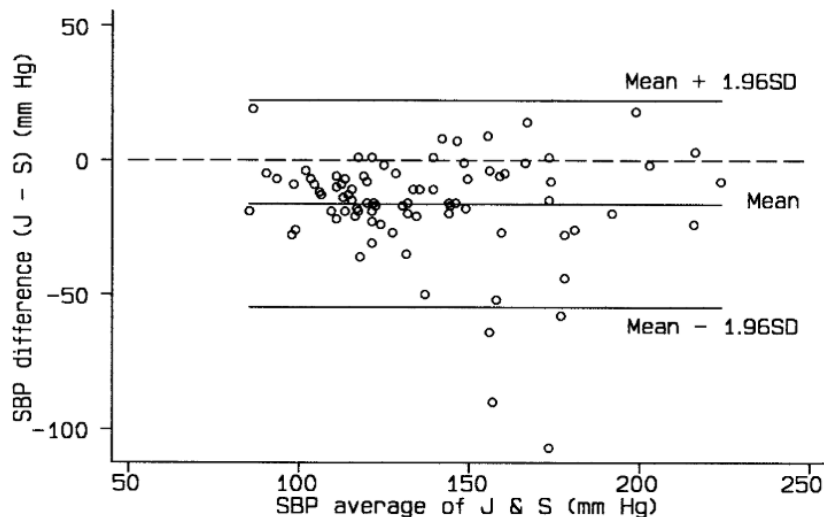


Figura 6: Exemplo de gráfico da distribuição das diferenças entre as médias, com a representação dos limites de concordância, linhas superior e inferior e a diferença média entre as medidas, o bias, na linha central. Fonte: (BLAND, ALTMAN, 1999).

Dentre as medidas para se avaliar a acurácia de um modelo proposto frente a um modelo de referência, destacam-se o erro absoluto médio (MAE), o erro quadrático médio (MSE), a raiz quadrada do erro quadrático médio (RMSE), o erro percentual absoluto médio (MAPE) e o erro padrão de estimativa (SEE).

O erro absoluto médio (MAE), definido como a média das diferenças absolutas entre os valores previstos e os valores reais, fornece uma representação média da magnitude dos erros. O erro quadrático médio (MSE), calcula a média dos quadrados das diferenças entre as previsões de um modelo e os valores reais. Ao elevar as diferenças ao quadrado, os desvios maiores apresentam peso maior. Para reduzir o peso dos desvios maiores tem-se utilizado a raiz quadrada do erro quadrático médio (RMSE). Já o erro percentual absoluto médio (MAPE) é uma métrica que calcula a média das diferenças absolutas percentuais, sendo útil para avaliar a precisão percentual média do modelo em relação aos valores reais (HYNDMAN; KOEHLER, 2006).

O erro padrão de estimativa (SEE) informa aproximadamente quão grandes são os erros de previsão (resíduos) para um determinado conjunto de dados. O SEE mede o desvio padrão dos valores reais quando os valores observados são traçados em uma constante. O resultado apresenta influência de outliers e é representado na mesma unidade de medida do objeto estudado. (CHARTER, 1996, DUDEK, 1979).

3 JUSTIFICATIVA

Na prática clínica de avaliação corporal de indivíduos com obesidade há por um lado a necessidade de métodos mais precisos, reprodutíveis e acessíveis aos profissionais da saúde, garantindo a correta classificação e avaliação do estado nutricional e metabólico do paciente que são fundamentais para a tomada de decisão do profissional. Por outro lado, os equipamentos utilizados, desenvolvidos para população eutrófica, não permitem a adequada tomada de medidas e avaliação de indivíduos com obesidade de acordo com os métodos tradicionais.

Apesar da disponibilidade de diversos métodos capazes de avaliar a composição corporal, a avaliação desta população ainda é desafiadora. Tanto a avaliação por dobras cutâneas e circunferências, como a avaliação por impedância bioelétrica se limitam à escassez de equações específicas para esta população, podendo estimar de forma pouco precisa os componentes corporais de indivíduos com obesidade. Desta forma, este estudo busca desenvolver e validar equações baseadas em dados obtidos por meio de avaliação com os principais métodos disponíveis na prática clínica comparados a um modelo de referência científica (DXA), visando melhorar os resultados apresentados pelas equações disponíveis nos softwares dos métodos avaliados.

A avaliação por BIA é um dos métodos duplamente indiretos mais aplicados na prática clínica e uma nova equação, utilizando os dados de R e X_c , pode reduzir os resultados controversos ao avaliar a população com obesidade.

Já o método de US ao escanear áreas corporais, permite identificar a espessura das camadas de gordura e muscular ao longo de todo o segmento corporal. Viabilizar uma forma de avaliar a composição corporal diretamente através das imagens geradas pelo método poderá reduzir os erros de antropometristas com treinamento insuficiente, além de apresentar melhores resultados do que a medição convencional que sofre por problemas acarretados por técnica incorreta ou pela característica da pele, além de permitir a avaliação não só do tecido adiposo subcutâneo assim como o tecido muscular esquelético.

Ao permitir a avaliação da composição corporal por meio de imagens de escaneamento de área corporal, o novo protocolo para a ultrassonografia modo-A, a ser proposto neste estudo, reduz o erro de avaliação relacionado a identificação de pontos anatômicos, tendo em vista que esta tarefa se torna dificultada em pacientes com obesidade, podendo facilitar e reduzir o erro das medidas realizadas através deste método.

Este estudo traz ainda um olhar para o futuro da antropometria com a análise da aplicabilidade de uma nova tecnologia, capaz de prever circunferências corporais através de fotos de smartphone com o uso de inteligência artificial. A acessibilidade e usabilidade do método poderão torna-lo uma ferramenta valiosa para a avaliação antropométrica.

Este será o primeiro estudo a (1) propor e validar uma nova abordagem na avaliação por imagem de US modo-A, inovando a aplicabilidade deste método; (2) novas equações para BIA para indivíduos com obesidade e (3) um protocolo de avaliação das circunferências corporais da população com obesidade por meio de imagens 2D com o uso de IA que poderá facilitar a obtenção e reduzir o erro de medidas antropométricas, tornando a avaliação antropométricas e a aplicabilidade de métodos de avaliação e diagnóstico que se utilizam de circunferências corporais mais precisas.

4 OBJETIVOS

4.1. OBJETIVOS GERAIS

Desenvolver e validar novas equações preditivas de avaliação da composição corporal para BIA e US modo-A e testar a acurácia de um modelo de IA para predição de circunferências corporais de indivíduos com obesidade a partir de imagens 2D.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desenvolver e validar equações a partir de dados de BIA capazes de prever de forma mais acurada o percentual de gordura corporal de indivíduos com obesidade avaliados por DXA;
- Propor um novo protocolo de utilização de dados de imagens de US modo-A para a predição do percentual de gordura corporal de indivíduos com obesidade avaliados por DXA;
- Testar a acurácia em indivíduos com obesidade de um novo método de mensuração das circunferências corporais utilizando IA a partir de imagens 2D obtidas por fotografia.

5 MATERIAIS E MÉTODO

5.1 DESENHO DO ESTUDO E SUJEITOS DA PESQUISA

Trata-se de um estudo observacional transversal analítico, realizado na Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Foram avaliados indivíduos adultos de ambos os sexos, com idade entre 18 e 65 anos e IMC ≥ 30 kg/m². O estudo foi conduzido de acordo com a Declaração de Helsinque e aprovado pelo comitê de ética em pesquisa do Hospital Universitário da UFRJ pelo nº 5.271.068 (ANEXO 1).

Para o cálculo do tamanho amostral foi utilizado o software G*Power versão 3.1.9.7. Foi definindo um tamanho de efeito médio ($f^2 = 0,15$) baseada em estudos anteriores e na literatura relevante, que sugerem que este é um tamanho de efeito adequado para estudos na área de composição corporal. O nível de significância adotado foi de 0,05 sendo este um padrão na maioria das pesquisas científicas. O poder estatístico foi definido como 0,80, amplamente aceito como suficiente para detectar efeitos significativos sem exigir um tamanho amostral excessivamente grande. A partir destas configurações o tamanho amostral foi determinado em 118 indivíduos.

Os sujeitos da pesquisa foram recrutados por divulgação *online* nas redes sociais e divulgação interna na UFRJ (ANEXO 2). Os interessados entraram em contato com os pesquisadores para verificar se estavam dentro dos critérios de inclusão, dúvidas referentes ao estudo e aos métodos a serem aplicados. Após essa etapa, receberam o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) (ANEXO 3) e após concordância, foi agendado o dia e horário da coleta. Os indivíduos foram orientados quanto ao protocolo pré-avaliação, que consistia em: Não consumir álcool, cafeína e remédios diuréticos 12 horas antes do teste; não praticar exercício físico ou frequentar saunas nas oito horas que antecedem o teste; estar em jejum de quatro horas antes do teste, estar com a bexiga vazia no momento do teste. Ao momento do teste, todos os indivíduos deveriam estar com trajes de banho, sendo sunga para os homens e top e short curto e colado ao corpo para mulheres que não possuam partes em metal. Foram orientados para que retirassem todos os pertences de metais como brincos, piercings e anéis. Os participantes da pesquisa que tinham alguma alteração tecidual (muscular, óssea, adiposa), edema, limitações de movimento, estivessem em período

menstrual, gestantes ou não queriam participar de alguma etapa e não tenham seguido o protocolo foram excluídos do estudo, sem prejuízos a eles.

As avaliações foram realizadas no Laboratório de Desenvolvimento de Alimentos para Fins Especiais e Educacionais (LabDAFEE), Instituto de Nutrição Josué de Castro, Centro de Ciências e Saúde, na UFRJ. Ao chegar ao local de coleta, os voluntários assinaram TCLE e responderam a questionários contendo perguntas sobre o protocolo pré-avaliação, assim como questões sobre a cidade em que reside, prática de exercício físico, diagnóstico prévio de doenças, alimentação e ciclo menstrual (ANEXO 4). A coleta de dados antropométricos foi composta de avaliação da altura, peso, sexo, perímetros de pescoço, braço relaxado, antebraço máximo, cintura, abdômen, quadril, coxa média e panturrilha máxima. Foram coletadas quatro fotos de corpo inteiro de cada voluntário para avaliação da composição corporal e circunferências corporais por imagens. Foram obtidas imagens de escaneamento por US modo-A das regiões do tríceps, abdômen e coxa para avaliação da composição corporal. Todos os indivíduos tiveram a composição corporal, densidade mineral e conteúdo mineral ósseo avaliados por DXA.

5.2 AVALIAÇÃO ANTROPOMÉTRICA

A antropometria foi realizada por um avaliador devidamente treinado, sendo sempre o mesmo avaliador. Para avaliação da estatura foi utilizado estadiômetro Avanutri AVA-305 (AvaNutri, Três Rios, Brasil), com graduação de 0,1 cm. Os indivíduos foram orientados a se posicionarem à frente do estadiômetro em posição ortostática, com os calcanhares unidos e a cabeça posicionada em plano de Frankfurt (LOHMAN.T, *et al.*, 1988). Para a avaliação do peso corporal foi utilizada uma balança IN-F500 (InBCA, Shenzhen, China) devidamente calibrada.

5.3 CIRCUNFERÊNCIAS CORPORAIS

As circunferências foram mensuradas com trena antropométrica metálica e flexível com graduação de 0,1cm (CESCORF, Porto Alegre, Brasil). Foi utilizado o protocolo ISAK (MARFELL-JONES, OLDS, *et al.*, 2006) para as circunferências de pescoço, braço relaxado, antebraço, cintura, quadril, coxa média e panturrilha máxima. A circunferência de abdômen foi tomada na altura da crista ilíaca (WELTMAN, LEVINE, *et al.*, 1988, WELTMAN, SEIP,

et al., 1987). As medidas foram realizadas em duplicata e o valor utilizado para análise estatística foi a média dos valores obtidos. Ao se identificar uma diferença maior que 2%, foi realizada uma terceira medida e o valor utilizado foi a mediana das três medidas.

5.4 ULTRASSOM MODO-A

Foram avaliadas as espessuras de gordura subcutânea tricipital, abdominal e da região anterior da coxa por meio de equipamento de ultrassom portátil BodyMetrix modelo BX 2000 (BodyMetrix, CA, EUA). As leituras de área foram realizadas do lado direito sempre pelo mesmo avaliador, de forma a contemplar toda a região avaliada. A leitura do tríceps foi realizada com o braço em posição anatômica do terço superior da medida entre o acrômio e o olecrano, até o olecrano; a leitura da região tricipital foi realizada na altura do bordo superior da crista ilíaca, da linha axilar até a cicatriz umbilical; a leitura da coxa anterior foi realizada do terço superior da medida entre a prega inguinal e o bordo superior da patela, até o bordo superior da patela. As medidas foram obtidas sempre pelo mesmo avaliador a partir das marcações de espessura da camada de gordura subcutânea superficial, representadas pela primeira linha clara nas imagens geradas pelo escaneamento das áreas descritas, analisadas através do *software BodyView* (IntelaMetrix, Brentwood, CA assim como descrito por (WAGNER, Dale. R., 2013).

5.5 AVALIAÇÃO FOTOGRÁFICA

As fotos foram coletadas frente a um fundo branco com a câmera posicionada em pedestal a um metro de distância dos avaliados. Os indivíduos foram orientados a se posicionarem com pernas e braços afastados até que não houvesse mais pontos de contato entre si ou com o tronco, respectivamente. As palmas das mãos foram posicionadas para frente e os dedos das mãos unidos. Esta posição foi utilizada para a coleta de duas fotos, uma com o indivíduo de frente para a câmera e outra com o indivíduo de costas para a câmera. O indivíduo foi então orientado a se posicionar de lado para a câmera. O braço do lado mais próximo à câmera se encontrando estendido com o ombro em flexão e o dorso da mão voltado para a câmera. O braço e a perna do lado mais distante da câmera para não aparecer na imagem, permaneciam ocultos atrás do corpo. Esta posição foi realizada para captura de imagens de ambos os lados do indivíduo. Um exemplo de vestimentas e posicionamento pode

ser observado na figura 3. O protocolo para as fotos assim como a tecnologia envolvida na análise e geração dos resultados foram descritas por (ALVES, OHATA, et al., 2023)



Figura 7: Exemplo de posições e vestimenta para a análise por fotos. Fonte: Imagem do autor.

5.6 ANÁLISE DE IMPEDÂNCIA BIOELÉTRICA CORPORAL

Foi utilizado um modelo de bioimpedância por eletrodos (TeraScience; Brasília, Brasil), monofrequencial (50 kHz), bipolar, sendo realizada a leitura do indivíduo de pé sobre superfície isolante com pés e braços afastados. Foram colados quatro eletrodos sendo dois no pé (um eletrodo a um centímetro da articulação metatarso falangial e outro na altura dos maléolos) e dois na mão (um eletrodo a um centímetro da articulação metacarpo falangial e outro entre os processos estiloides) do lado direito do corpo, assim como descrito por (RUSH, CROWLEY, et al., 2006), os eletrodos foram descartados a cada avaliação não havendo reutilização. A avaliação por BIA foi realizada logo após a realização da avaliação por DXA.

5.7 ABSORCIOMETRIA DE DUPLA ENERGIA DE RAIOS-X

Para a análise da composição corporal por DXA foi utilizado o equipamento GE Prodigy Advance (Madison, WI, USA), devidamente calibrado antes de iniciar as coletas, operado sempre por um técnico capacitado para a operação do equipamento. Os indivíduos foram avaliados deitados em decúbito dorsal, posicionados dentro da área de leitura do equipamento e orientados a não se movimentar e evitarem falar durante o procedimento. Os indivíduos foram orientados a retirar qualquer acessório de metal como piercings, brincos, pulseiras e cordão. Caso o indivíduo possuísse área corporal maior do que o equipamento é capaz de avaliar, era feita a leitura do lado direito e os dados obtidos replicados para o lado esquerdo. Os resultados eram apresentados ao sujeito logo após o teste. Os valores de gordura

visceral e a densidade mineral óssea foram classificados em percentis (CZARTORYSKI, GARCIA, et al., 2020).

5.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA

A análise de distribuição amostral foi realizada pelo teste de Shapiro-Wilk. As análises de concordância foram realizadas a partir abordagem tradicional de (BLAND, ALTMAN, 1999). O nível de significância de $p < 0,05$ foi adotado. As análises estatísticas foram realizadas no programa GraphPad Prism, versão 9.2.0 e Excel 2010.

Para o desenvolvimento das equações preditivas foi utilizado o modelo de regressão linear múltipla stepwise forward. A seleção das variáveis dependentes foi realizada após uma análise de correlação de cada variável com a variável dependente que para todos os casos foi o percentual de gordura corporal avaliado por DXA. Foram utilizados os programas GraphPad Prism, versão 9.2.0. e MedCalc versão 20.215.

O desempenho dos modelos foi avaliado pelo coeficiente de determinação R^2 , a seleção dos modelos foi feita após a validação cruzada sendo as amostras divididas em 70% para a criação das equações e 30% para a validação. Para a seleção do modelo além da métrica de R^2 , também serão considerados, a raiz do erro quadrático médio (RMSE), o erro percentual absoluto (MAPE) e o erro padrão da estimativa (SEE) dos modelos. O índice de concordância foi avaliado pelo coeficiente de correlação de concordância de Lin (CCC) e classificado de acordo com MCBRIDE, G. B. et al. 2005. como: concordância quase perfeita ($>0,99$); concordância considerável ($>0,95-0,99$); concordância razoável ($0,90-0,95$); e baixa concordância ($<0,90$) (MCBRIDE, 2005).

6 RESULTADOS

Os resultados serão apresentados em formato de manuscritos divididos em três propostas de publicação a serem submetidos à revista *Journal of Obesity* (Classificação A3, Fator de Impacto: 3.3).

Os resultados apresentados foram coletados em dois momentos, sendo o primeiro realizado entre outubro de 2021 e fevereiro de 2022, contando com um total de 226 voluntários, e o segundo momento ocorreu entre janeiro e dezembro de 2023 com um total de 167 indivíduos conforme apresentado no fluxograma abaixo:

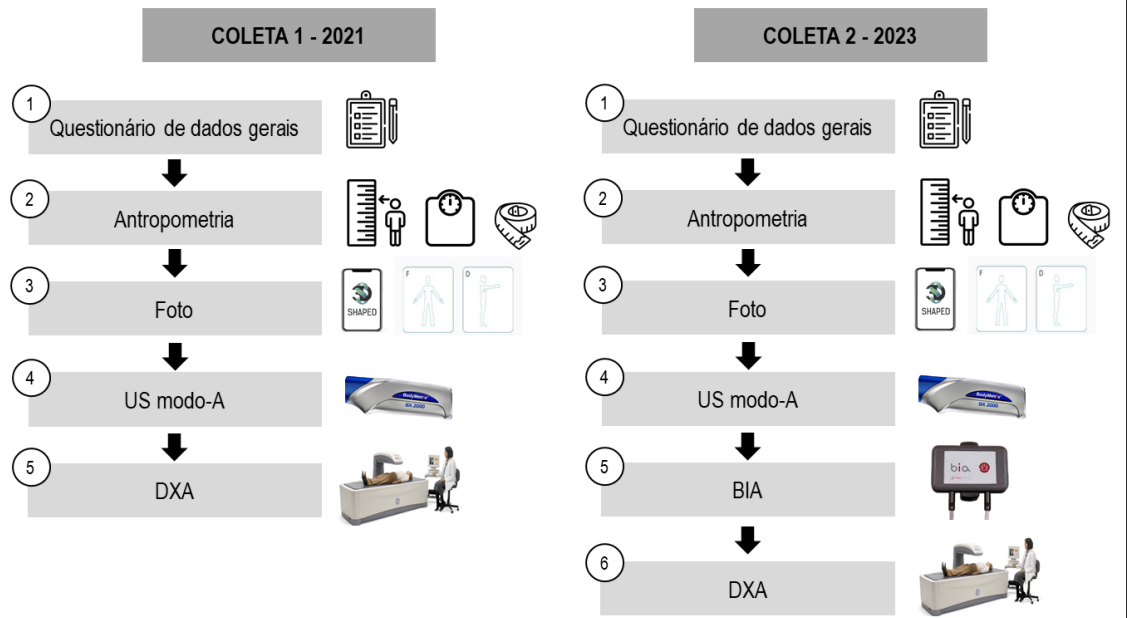


Figura 8: Fluxograma dos dois momentos de coleta de dados.

A primeira proposta de manuscrito trata dos dados referentes ao desenvolvimento e validação de equações para predição do percentual de gordura corporal tendo como base os dados de impedância bioelétrica.

A segunda proposta de manuscrito trata-se de um estudo piloto cujo objetivo foi o desenvolvimento e validação de uma nova abordagem para o uso do método de US modo-A para avaliação da composição corporal. Foram desenvolvidas e validadas equações para a predição da gordura corporal através das imagens de ultrassom por escaneamento de área e não por pontos anatômicos isolados como preconizado pelo método convencional.

A terceira proposta de manuscrito trata-se da avaliação da concordância de um método para estimar circunferências corporais por meio de imagens a partir de fotos 2D e análise por IA e VC comparadas a medidas realizadas por um antropometrista experiente.

Todo o material escrito em língua inglesa será revisado por profissionais capacitados antes da submissão para as revistas.

6.1 MANUSCRITO 1

Development and Validation of Equations to Estimate Body Fat Percentage in Adults with Obesity by Bioelectrical Impedance

Abstract

Objective: The present study has the objective to develop and validate new equations based on bioimpedance raw data (Resistance and Reactance) with a laboratory gold-standard method (DXA). **Methods:** 167 volunteers (127 females) with obesity ($BMI \geq 30\text{kg/m}^2$) had their body composition evaluated by DXA and a single-frequency bioimpedance device. The concordance between results was analyzed by Bland Altman plot and the correlation was analyzed by Lin's concordance correlation coefficient. **Results:** The equations with the best results included data as sex, BMI, resistance, reactance, phase angle, and height. The equation with the best results presented a mean bias of 0.7263, an $R^2 = 0.83$, and a $CCC=0.91$. **Conclusions:** With these results, we present equations with better accuracy in evaluating body fat on individuals with obesity. Other studies should investigate the accuracy of the current capacity of bioimpedance devices on evaluating other tissues like muscle mass and visceral fat.

Introduction

Obesity is a multifactorial disease suffering influence from genetics, behavior, environment and hormones, leading to a caloric imbalance and abnormal adipose tissue accumulation. Obesity has become a major global concern and is considered a very dangerous health condition elevating the risk of several diseases including type 2 diabetes, cardiovascular diseases, Alzheimer, cancer, respiratory diseases, and others. Therefore, the precise measure of obesity is needed to guarantee the appropriate identification and treatment (JOHNSTON, ABBOTT, 2023, MOHAJAN, MOHAJAN, 2023a, b).

Body composition can be assessed by different methods each having advantages and disadvantages. On one hand although laboratory methods such as Dual X-Ray Absorptiometry (DXA) are more accurate, they need very expensive equipment, and adequate space. On the other hand, field methods as bioelectrical impedance analysis (BIA), skinfold (SF) and ultrasound (US), involve cheaper devices but their reliability to evaluate obese population still needs to be tested (BAYS, GONSAHN-BOLLIE, *et al.*, 2022, MICLOS-BALICA, MUNTEAN, *et al.*, 2021).

Methods like BIA, SFs, and US rely on assumptions about tissue density and distribution of components like water, proteins, and mineral contents of the fat-free body. The proportion of those components and consequently the density of tissues vary with age, gender, ethnicity, physical activity and body fat levels, resulting in systematic errors on body composition estimation (BOTTARO, WAGNER, 2002).

BIA is a non-invasive, quick and painless method that is based on the passage of a low-intensity electrical current through the body. The opposition of body tissues to the passage of this current determines the functionality of the BIA, which is called impedance (Z). Impedance is determined as a relation of two raw measures from BIA devices: Resistance (R) which measures the opposition to the flow of electrical current through the intra and extracellular media of the body, being directly associated with the level of hydration and Reactance (Xc) which measures the opposition to flow caused by the capacitance produced by the cell membrane. Tissues with higher water content, like muscles, containing 73% water under stable conditions, are the best conductors as they provide less resistance. The different BIA models available on the market differ by the frequency used, position and region of the body to which the electrodes are applied and number of electrodes. Single-frequency BIA generally runs at 50 kHz, whereas in multi-frequency equipment a wide range from 5 kHz to up to 1000 kHz can be found (SOSSOU, DA SILVA, *et al.*, 2022).

The major limitation of body composition estimates using BIA is the fact that body water is assumed to be constant in all individuals. However, physiological and pathological conditions such as ethnicity and obesity can interfere with the volume and distribution of body water. Individuals with obesity tend to present higher extracellular water, this effect is directly proportional to BMI (COPPINI, WAITZBERG, *et al.*, 2005).

In a systematic review of equations created from BIA to analyze lean mass, (BEAUDART, BRUYÈRE, *et al.*, 2020), they observed that the majority of the studies analyzed developed equations with healthy and eutrophic North American or European

individuals as subjects leaving other population groups in need of specific equations. It was also highlighted that studies that included more variables in the equation were able to respond to a greater part of the variations in the measurement of lean mass by BIA, with the resistance index, socio-demographic factors (age and sex) and anthropometric measurements (weight and height), the most used variables (BEAUDART, BRUYÈRE, *et al.*, 2020).

Therefore, the present study aim to develop and validate specific equations to attend to a multiethnic population with obesity and reduce the error of estimate of body composition usually presented by bioimpedance devices in comparison with a laboratory reference method (DXA) when evaluating this population.

Methods

Study design and participants

This is a cross-sectional study, carried out in the Laboratory of Development of Foods for Special Needs and Educational Purpose (LabDAFEE), Health Sciences Center, Federal University of Rio de Janeiro (UFRJ). The study was conducted following the declaration of Helsinki and approved by the ethical committee in research from the University Hospital, registered by the protocol num.: 53480021.2.0000.5257. Volunteers were recruited by online propagation on social media between January and December of 2023. The study sample was composed of individuals of both sexes, ages between 19 and 61 years old, weighing up to 150 kg (Fig.1).

The inclusion criteria were $BMI \geq 30$ with a weight limit of 150 kg due to equipment limitation, not having an amputation or impaired walking, no use of a pacemaker and not being on the menstrual period or pregnant. Beyond that, the subjects were oriented with the pre-exam protocol which was: (1) not consuming alcohol or caffeine 12 hours before the exam; (2) not practicing exercise or going to saunas eight hours before the exam; (3) fasting four hours before the exam; (4) empty the bladder before the exam; (5) wear bathing clothes as swimming trunks for men and sports bra and shorts for women without metal parts; (6) take off all metal accessories as rings, earring, and piercings. The subjects with any tissue alterations (muscular, bone, fat), edema, being on the menstrual period on the day of the exam, refusing to participate in any stage of the study, or not-following the protocol were excluded from the study.

All volunteers answered a questionnaire with information on age, sex, ethnicity, practice of physical exercises, previous diagnosis of diseases, the time and content of the last meal,

physical activity schedule, date of onset of the last menstruation, and duration of the menstrual period, social demographic information and possible external variables that could influence the collection of data, were questioned. All participants voluntarily agreed to participate in the research; written informed consent was obtained.

Anthropometry

The measurement of anthropometric data followed the patterns of the International Society for the Advancement of Kinanthropometry (ISAK) (MARFELL-JONES, OLDS, *et al.*, 2006) and was taken by a trained anthropometrist. A stadiometer Avanutri AVA-305 (AvaNutri, Três Rios, Brazil), graded 0,1 cm was used to measure the stature. Individuals were instructed to stand in front of the stadiometer in an orthostatic position, heels united and head positioned in Frankfurt position. The body mass was measured with inBCA F-500 (InBCA, Shenzhen, China), graded 0,1 kg.

Bioelectrical Impedance Analysis

To the bioimpedance analyses, four electrodes, single frequency (50 kHz) device was used (TeraScience, Brasília, Brazil). The electrodes were placed on the right side of the body, the first one was placed at the dorso of the hand, one centimeter above the third metacarpophalangeal joint, the second was placed at the wrist between the styloid processes. The third electrode was placed at the right foot, one centimeter above the metatarsophalangeal joint and the last one between the malleoli. During the test the volunteer assumed a standing position on a rubber isolating surface with legs and arms open until they did not touch each other or the trunk to avoid shortcuts on the passage of the electric current. (10) The values of total body fat, fat free mass, total body water, intra and extracellular water content, phase angle, resistance, reactance and impedance were obtained from the BIA device.

Dual-energy X-ray Absorptiometry

Fat mass was estimated with the DXA method. The Lunar iDXA device with enCore 2008 software version 12.20 (GE Healthcare, Madison, Wisconsin, USA) was used in the automatic full-body scan mode. The participants were placed in a dorsal position and asked to remain immobile until the end of the procedure. The exams were performed by a single trained and qualified professional, following the quality control procedures recommended by the manufacturer, and the official recommendations of the International Society for Clinical

Densitometry (CRABTREE, ARABI, *et al.*, 2014). If the subject had a body area larger than the equipment reading area, the exam was performed on the right side of the body and replicated on the left side (ROTHNEY, BRYCHTA, *et al.*, 2009).

Statistical Analysis

A random selection of 70% of the total sample was designated as the development group and data was used to develop the equations with the use of stepwise forward linear regression. The data corresponding to the remaining 30% of the volunteers composed the validation group and was used to test the equations generated.

Selection of Variables

The variables considered to the development of the equations were: age, sex, attributed as 0 for males and 1 for females, weight, height, BMI, resistance (R), reactance (Xc), phase angle (PA), impedance calculated as $\sqrt{(R^2) + (Xc^2)}$, impedance index calculated as (height^2/R) . The correlation of each independent variable with the DXA %BF was evaluated, and the variables were tested on the equation according to the values of the R^2 , from the higher to the lower values.

Equation Analysis

Agreement analyses were carried out as a percentage of difference using the approach of Bland and Altman plot (1999) and the analysis of mean absolute percentage error (MAPE), roots of mean squared error (RMSE) and standard error of estimates (SEE) between the methods were carried out (BLAND, ALTMAN, 1999). Lin's Concordance Correlation Coefficient (CCC) (LIN, 1989, 2000; MCBRIDE, 2005) was used to test differences and levels of agreement between the %BF estimated by each equation in comparison to values from the DXA. A significance level of $p < 0.05$ was adopted. Statistical analyses were performed using GraphPad Prism, version 9.2.0, and MedCalc version 20.215.

Results

A total of 167 volunteers were evaluated, 127 females (76 %), the average age was 38.2 ± 10.16 , the means weight and height were $104.07 \text{ kg} \pm 16.24$ and $166.53 \text{ cm} \pm 9.19$ respectively and the mean BMI was $37.56 \pm 5.41 \text{ kg/m}^2$. The characteristics of the development and the validation groups are shown in Table 1. The information reported by the

volunteers to the questionnaire showed no external influence that could impair the body composition results collected.

Table 1. Chronological age and anthropometric characteristics, values are presented as mean and standard deviation.

	DEVELOPMENT			VALIDATION		
	Male n = 31	Female n = 82	Total n = 113	Male n = 9	Female n = 45	Total n = 54
Age (years)	38 ±12.1	36 ±10.2	37.2 ±10.7	42.6 ±10.4	39 ± 8.1	40.4 ±8.5
Weight (kg)	109 ±16.3	98.5 ±14.3	101.4 ±15.5	112.19 ±16.1	108.80 ±16.7	109.4 ±16.5
Height (cm)	176 ±7.5	163.2 ±7.5	166.72 ±9.4	178.37 ±7.1	163.65 ±6.6	166.1 ±8.6
BMI (kg/m ²)	35.1 ±4	36.9 ±4.9	36.47 ±4.7	35.24 ±4.5	40.65 ±6	39.83 ±6.1
DXA (%BF)	37.49 ±4.72	48.63 ±4.37	45.57 ±6.69	38.29 ±4.37	40.79 ±4.10	48.70 ±6.24

A total of seven equations using the raw data from the bioimpedance device were proposed and analyzed compared to DXA (Table 2). The mean bias for the original equation of the bioimpedance device was -8.0 % error and presented a general tendency of underestimating the body fat percentage of the volunteers. The mean values of %BF from DXA and from each equation are presented on Table 3. Proposed equations presented better metrics of error analysis (Table 4), and showed lower bias and lower limits of agreement than the results from the original equation of the device (Figure 1).

Table 2. The generated equations to predict body fat percentage (%BF).

E1	$51.46 + (3.762 * \text{sex}) + (0.4111 * Xc) - (168 * \text{PA/BMI})$
E2	$53.9 + (4.036 * \text{sex}) + (0.4306 * Xc) - (176.9 * \text{PA/BMI}) - (0.03007 * R/\text{BMI})$
E3	$(4.813 * \text{sex}) + (0.8424 * \text{BMI}) + (0.05449 * R) - 6.999 - (0.02688 * \text{height}) - (0.06003 * Xc)$
E4	$54.69 + (0.3039 * \text{weight}) + (4.909 * \text{sex}) + (0.05446 * R) - (0.3946 * \text{height}) - (0.06901 * Xc)$
E5	$57.06 + (0.3028 * \text{weight}) + (4.826 * \text{sex}) + (0.05411 * R) - (0.4013 * \text{height}) - (0.01834 * \text{age}) - (0.07283 * Xc)$
E6	$47.45 + (0.3073 * \text{weight}) + (3.786 * \text{sex}) + (7.857 * R) + (0.6925 * Xc) + (1.065 * \text{PA}) - (0.2551 * \text{height}) - (7.859 * \text{Imp.}) - (0.1989 * \text{height}^2/R)$
E7	$57.89 + (0.2455 * \text{weight}) + (3.808 * \text{sex}) + (0.142 * \text{BMI}) + (7.143 * R) + (0.8813 * Xc) - (0.3342 * \text{height}) - (0.04035 * \text{age}) - (1.41 * \text{PA}) - (7.151 * \text{Imp.})$

R (resistance); Xc (reactance); BMI (Body Mass Index); PA (Phase Angle); Imp. (Impedance);

Table 3. Body fat percentage evaluated by DXA, original equation from BIA device, and the proposed equations.

	DXA	BIA*	Eq. 1*	Eq. 2	Eq. 3	Eq. 4	Eq. 5	Eq. 6	Eq. 7
BF%	48.70%	45.14%	49.15%	49.30%	49.03%	48.92%	48.85%	48.77%	48.52%
	±6.24%	±6.91%	±5.49%	±5.71%	±6.24%	±6.14	±6.18%	±5.95	±5.93%

Values are presented as means and standard deviation.*Different from DXA $p < 0.05$.

When analyzing the independent variables included on the proposed equations, sex was an important variable, presenting a major impact on R^2 . Also Xc and height were the independent variables that were present on most of the proposed equations with important contribution to the prediction of the %BF of our sample.

Table 4. Metrics of concordance and errors of the proposed equations compared to DXA.

EQUATION	R²	RMSE	MAPE	SEE	CCC
BIA	-	4.60	7.76%	2.97	0.91
1	0.85	2.68	4.70%	2.37	0.90
2	0.86	2.69	4.62%	2.45	0.91
3	0.83	2.63	4.49%	2.60	0.91
4	0.83	2.64	4.49%	2.59	0.91
5	0.83	2.64	4.48%	2.61	0.91
6	0.85	3.29	5.37%	3.14	0.85
7	0.85	3.21	5.28%	3.06	0.86

BIA represents the body fat value provided by the manufacturer original equation, R^2 : coefficient of determination, RMSE: roots mean square error, MAPE: mean absolute percentage error, SEE: standard error of estimates, CCC: Lin's concordance correlation coefficient

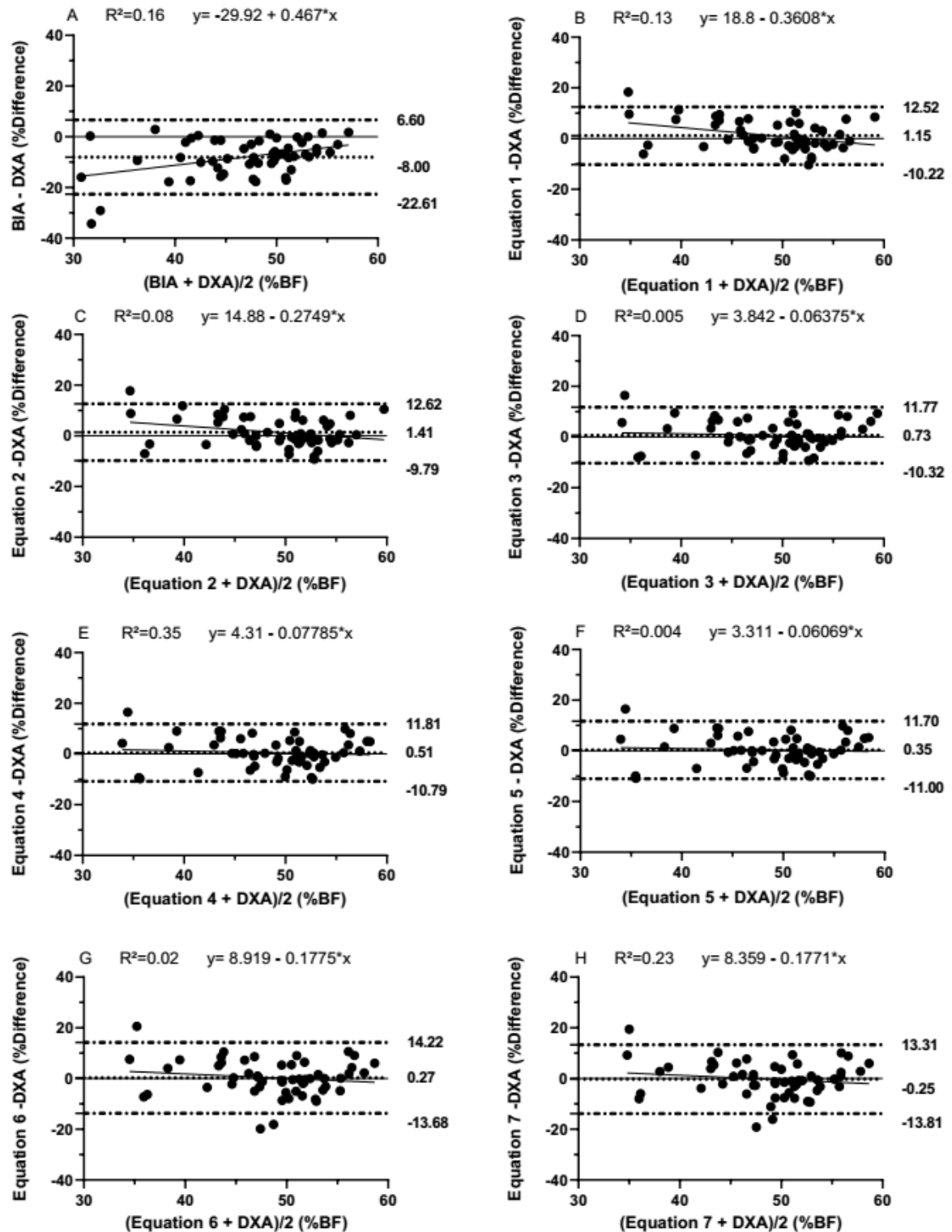


Fig.1: Bland-Altman concordance test between the original equation offered by the bioimpedance (BIA) device (equation not informed by the company) (A), the proposed equations based on the data from this study, being equation 1(B), equation 2(C), equation 3(D), equation 4(E), equation 5(F), equation 6(G), equation 7(H) and dual-energy X-ray absorptiometry (DXA). The analysis was made by the percentage of the error and the graphs show the mean bias and the 95% limit of agreement of the original result estimated by the BIA device and the result estimated by each equation proposed. To each graphic, a simple linear regression was performed, and the R^2 and the line equation is presented on top of each graph.

From the equations developed on this study (Table 2) we highlight the equation 3 as the equation with better results on the analyzed metrics of concordance and errors. It includes five variables: sex, BMI, resistance, reactance and height. It showed a R^2 of 0.83 presenting a good explanation of the dependent variable, a mean bias of 0.7263 %error and a CCC of 91 showing strong correlation with DXA.

Discussion

This study was able to develop and validate equations to directly estimate body fat percentage from BIA raw data on individuals with obesity reducing the mean bias observed from the original equation from -8% error to approx. 1% error. These results highlight the importance of revisiting the equations being used to evaluate specific populations.

The accuracy of BIA devices has been tested on several studies, while (SULLIVAN, STILL, *et al.*, 2018) and (CZARTORYSKI, GARCIA, *et al.*, 2020) found no significant difference on the results of body composition when compared the InBody device to *Air Displacement Plethysmograph* (ADP), other studies have found a general tendency of underestimation of the %BF from this method when compared to DXA (FARIA, FARIA, *et al.*, 2014, HE, PING, *et al.*, 2018). Our results from the BIA device corroborates with most of the literature as it shows a tendency of underestimation the %BF when analyzing individuals with obesity.

The BIA method considers a constant hydration status of the individuals to estimate body composition and alterations on hydration status usually leads to altered results overestimating fat free mass with the increase of the hydration status (UGRAS, 2020). Individuals with obesity tend to consume less water than eutrophic individuals therefore are expected to be insufficiently hydrated as observed in obese children (CELIK, CEBECI, 2021), adolescents (ISABEL, GARC, *et al.*, 2019) and adults (RAVI, PLEGUE, 2016), what could lead to an expectation of a fat mas overestimation on individuals with obesity analyzed by BIA. However, obesity pathophysiology is characterized by elevated secretion of inflammatory cytokines from adipose tissue leading to a chronic inflammation status that causes sodium and water retention (STRAUB, 2014), also the adipose tissue presents a higher extracellular to intracellular ratio and a loss in functional status of the cell membrane, what could partially explain the underestimation of the %BF instead of an overestimation (BOSY-WESTPHAL, DANIELZIK, *et al.*, 2006, STRAUB, 2014).

(COËFFIER, EL MACHKOURI, *et al.*, 2022) analyzed seven BIA equations present on the literature on its accuracy on estimating total body water, FFM, and FM compared to DXA with data from individuals with $BMI \geq 30 \text{ kg/m}^2$. All equations were developed in healthy eutrophic individuals and presented a mean bias around 10% when estimating FFM and FM. Most of the equations presents FFM as a result and then subtracts the FFM from the total body weight to estimate FM.

From the equations tested on their study, the equation from (ROUBENOFF, BAUMGARTNER, *et al.*, 1997) developed on elderly overweight (BMI 27.23) people is suggested to be used on population with obesity. This equation uses impedance index (height^2/R), weight, reactance and sex as variables to predict fat free mass. We tested the suggested equation to analyse %BF on our sample, and found a mean bias of 7.22% of error.

We also tested the equation proposed by (HORIE, BARBOSA-SILVA, *et al.*, 2008), developed on bariatric patients with severe obesity (BMI 46.88), and the equation by (HOFSTEENGE, CHINAPAW, *et al.*, 2015) developed with adolescents (age 14.4) with obesity (BMI 33.9). The equation from HORIE *et al.*, 2008, uses age, weight, resistance and height as variables to predict body fat in kg. Compared to DXA measurements of body fat from our data, their equation presented a mean bias of -7.693%. The equation from HOFSTEENGE *et al.*, 2015, uses ($\text{height}^2/\text{impedance}$), and weight as variables to predict FFM and presented a mean bias of -11.34%. This larger bias could be expected due to the difference on mean age from the groups.

Conclusion

This study developed and validated equations to estimate body composition specific to the population with obesity. The literature regarding new tools and equations to evaluate this population is still scarce although this population for a long time have needed better body composition evaluation to better describe and understand the health complications due to fat accumulation and distribution. The equations proposed in this study will provide a more precise evaluation of the body composition of individuals with obesity based on simple anthropometric and BIA measurements.

Our results compared with literature equations also highlight the importance of revisiting classic equations, as we expect our equations to be tested by other research groups on adults with obesity.

This population is expected to have altered water balance, equations that keep assuming normal water content of tissues will keep presenting unreliable results on body composition estimates to people with obesity and other conditions that affects body hydration status. Our equations show better results probably because it uses less assumptions and estimate directly the %BF from the BIA raw data and anthropometric values.

6.2 MANUSCRITO 2

DEVELOPMENT AND VALIDATION OF A NEW PROTOCOL TO ESTIMATE BODY FAT PERCENTAGE WITH THE USE OF A-MODE ULTRASOUND IMAGE – A PILOT STUDY

Abstract

Objective: The present study has the objective to develop and validate new equations based on ultrasound images to accurately predict body fat percentage on adults with obesity according to a laboratory reference method (DXA). **Methods:** volunteers with obesity had their body composition evaluated by DXA, and scanned at the triceps, abdominal and front thigh areas with A-mode ultrasound. Three equations were proposed using the mean values of adipose tissue thickness from the area scanned and the concordance between results was analyzed by Bland Altman plot and the correlation was analyzed by Lin's concordance correlation coefficient. **Results:** The proposed equations presented in general satisfactory agreement with DXA the mean bias ranged from -0.17% to -1.19% of error on body fat percentage. **Conclusions:** With these results we present equations with better accuracy in evaluating body fat on individuals with obesity and present a new way of using the scanned images of the body and how to use the US method to evaluate body composition.

Introduction

The pandemic of obesity is a health concern worldwide because of its association with diverse diseases as diabetes, cardiovascular disease, cancer and others, and it is a condition with huge impact on morbidity and mortality being considered the fifth cause of death and leading to billions of dollars on costs of health systems globally (MAHMOUD, AL-WANDI, *et al.*, 2021, MONTAÑEZ, FERGUS, *et al.*, 2018).

The body mass index (BMI) is a relation of body weight, and the square of height is a widely referenced as a method to classify obesity, mostly because of its convenience and easy applicability as the index can be calculated with common anthropometric measures. However it tends to present poor sensibility with obesity as it does not consider the body composition considering only the weight (AHN, WANG, *et al.*, 2019).

In the medical context, the precise estimation of body fat is highly relevant when assessing health and the nutritional status of the patient. The adipose tissue can be divided into subcutaneous adipose tissue (SAT) and visceral adipose tissue (VAT). VAT presents metabolic characteristics that highlight the role of that specific tissue in the development of clinical complications related to obesity. The assessment of total body fat, on the other hand, plays an essential role in planning nutritional interventions and monitoring the success of the therapy (HOFFMANN, THIELE, *et al.*, 2022).

Body composition can be assessed by different methods each having advantages and disadvantages. On one hand, although laboratory methods such as Dual X-ray absorptiometry (DXA) are more accurate, they need very expensive equipment, and adequate space. On the other hand field methods as bioelectrical impedance analysis (BIA), skinfold (SF) and ultrasound (US), involve cheaper devices but their reliability in evaluating population with obesity still needs to be tested (BAYS, Harold Edward, GONSAHN-BOLLIE, *et al.*, 2022, MICLOS-BALICA, MUNTEAN, *et al.*, 2021)

The A-mode US was proposed as a method to measure subcutaneous fat thickness in humans over 50 years ago but still is being used less than other methods in clinical practice. The method of US imaging is the resonance of ultrasound waves as they pass through different tissues. The strength, or amplitude, of echoes is represented by the brightness of the image. This produces a two-dimensional greyscale image with white borders for the subcutaneous fat, the fat-muscle and muscle-bone interfaces.(WAGNER, Dale. R., 2013)

When compared to DXA as a reference method, the US measurement of body fat presented very small bias by the Bland-Altman analysis and good accuracy when evaluating adolescents with obesity on specific anthropometric sites. The US method also showed reliability with high reproducibility of data and small intra and inter-observer measurement values. (PINEAU, LALYS, *et al.*, 2010) One weak point of this study was the use of only two unconventional points to estimate body composition.

The A-mode US method has the advantages of being portable, noninvasive, safe for repeated measures, appropriate for assessing longitudinal changes in muscle mass, and presenting satisfactory reliability on intra and inter-rater. On the other hand, it is limited by the lack of cut-off points to do diagnoses and the paucity of clinical protocols (CENICCOLA, CASTRO, *et al.*, 2019)

Given the current information about the constant evolution of the US method and the need for development, validation, and standardization of protocols to better the accuracy of

this method including protocols to specific populations, the objective of this study is to develop a new way of analyzing the data from US directly from the use of body scan images and to propose equations to accurately predict body fat percentage of adult individuals with obesity.

Methods

Study design and participants

This is a cross-sectional study, carried out in the Laboratory of Development of Foods for Special Needs and Educational Purpose (LabDAFEE), Health Sciences Center, Federal University of Rio de Janeiro (UFRJ). The study was conducted following the declaration of Helsinki and approved by the ethical committee in research from the University Hospital, registered by the protocol num.: 53480021.2.0000.5257. Volunteers were recruited by online propagation on social media between January and December of 2023. The study sample was composed of individuals of both sexes, ages between 19 and 61 years old, weighing up to 150 kg (Fig.1).

The inclusion criteria were $BMI \geq 30$ with a weight limit of 150 kg due to equipment limitation, not having an amputation or impaired walking, no use of a pacemaker and not being in a menstrual period or pregnant. Beyond that, the subjects were oriented with the pre-exam protocol which was: (1) not consuming alcohol or caffeine 12 hours before the exam; (2) not practicing exercise or going to saunas eight hours before the exam; (3) fasting four hours before the exam; (4) empty the bladder before the exam; (5) wear bathing clothes as swimming trunks for men and sports bra and shorts for women without metal parts; (6) take off all metal accessories as rings, earring, and piercings. The subjects with any tissue alterations (muscular, bone, fat), edema, being on the menstrual period on the day of the exam, refusing to participate in any stage of the study or not following the protocol were excluded from the study.

General and personal information to monitor possible external variables was obtained through a structured questionnaire, with information on age, sex, ethnicity, the practice of physical exercises, previous diagnosis of diseases, the time and content of the last meal and physical activity, date of onset of the last menstruation, and duration of the menstrual period were questioned. All participants voluntarily agreed to participate in the research; written informed consent was obtained.

Anthropometry

The measurement of anthropometric data followed the patterns of the International Society for the Advancement of Kinanthropometry (ISAK) (MARFELL-JONES, OLDS, *et al.*, 2006) and was taken by a trained anthropometrist. A stadiometer Avanutri AVA-305 (AvaNutri, Três Rios, Brazil), graded 0,1 cm was used to measure the stature. Individuals were instructed to stand in front of the stadiometer in an orthostatic position, heels united and head positioned in Frankfurt position. The body mass was measured with inBCA F-500 (InBCA, Shenzhen, China), graded 0,1 kg.

A-mode ultrasound Analysis

Ultrasound measures were taken by the same anthropometrist at 3 sites, triceps, abdominal and front thigh, using BodyMetrix A-mode ultrasound device 2.5 MHz (IntelaMetrix, Brentwood, CA), a conductive gel was applied to the head of the transducer for lubrication, the transducer was passed at the triceps from the origin to the insertion of the triceps muscle, to the abdominal scans the transducer was passed at the umbilicus high from the iliac crest to the umbilicus. To the front thigh the transducer was passed from the top of the thigh to the upper border of the patella. The images were saved and later analyzed with the software BodyView (IntelaMetrix, Brentwood, CA). The images were marked at the first fascia to determine the thickness of the subcutaneous adipose tissue at the three images of each volunteer. (WAGNER, Dale. R., 2013) The first ten values of adipose tissue thickness from each image were plotted and the mean values were used to create the equations as shown in figure 1.

Dual-energy X-ray Absorptiometry

Fat mass was estimated with the DXA method. The Lunar iDXA device with enCore 2008 software version 12.20 (GE Healthcare, Madison, Wisconsin, USA) was used in the automatic full-body scan mode. The participants were placed in a dorsal position and asked to remain immobile until the end of the procedure. The exams were performed by a single trained and qualified professional, following the quality control procedures recommended by the manufacturer, and the official recommendations of the International Society for Clinical Densitometry (CRABTREE, ARABI, *et al.*, 2014). If the subject had a body area larger than the equipment reading area, the exam was performed on the right side of the body and replicated on the left side (ROTHNEY, BRYCHTA, *et al.*, 2009).

Statistical Analysis

70% of the total sample was randomly selected to compose the development group of the equations with the use of stepwise forward multiple linear regression. The data corresponding to the remaining 30% of the volunteers composed the validation group and was used to test the accuracy of the equations generated. Agreement analyses were carried out as a percentage of difference using the approach of Bland and Altman plot (1999) and the analysis of mean absolute percentage error (MAPE), roots of mean squared error (RMSE) and standard error of estimates (SEE) between the methods were carried out (BLAND, ALTMAN,1999). Lin's Concordance Correlation Coefficient (CCC) (LIN,1989,2000; MCBRIDE,2005) was used to test differences and levels of agreement between the %BF estimated by each equation in comparison to values from the DXA. A significance level of $p < 0.05$ was adopted. Statistical analyses were performed using GraphPad Prism, version 9.2.0, and MedCalc version 20.215.

Results

A total of 148 individuals with obesity were evaluated and their anthropometric characteristics are presented in Table 1. The majority of the group was composed by females (77%) presenting higher BMI and %BF than the males.

Table 1. Chronological age and anthropometric characteristics, presented as mean and standard deviation.

	DEVELOPMENT			VALIDATION		
	Male n= 27	Female n= 76	Total n= 103	Male n= 7	Female n= 38	Total n= 45
Age (years)	41.2 ±13.6	36.4±10.1	37.6±11.2	42.6±10.4	39±8.1	39.2±8.3
Weight (kg)	106.1±15.3	99.5±15.2	101.3±15.4	114.8±17.6	107.4±16.7	108.5±16.9
Height (cm)	175.2±6.8	163.4 ±7.1	166.5±8.7	177.9±7.6	163.3±6.4	165.5±8.4
BMI (kg/m ²)	34.5±3.8	37.3±5.4	36.6±5.1	36.2±4.6	40.3±6.1	39.7±6
DXA (%BF)	37.10±5.55	48.99±4.9	45.87±7.27	38.69±5.58	51.46±5.04	49.47±6.9

A total of three equations were generated including the data from US images, one also included the sex as a variable and the third included the sex and the stature as those were the variables that presented higher correlation with the dependent variable (DXA %BF).

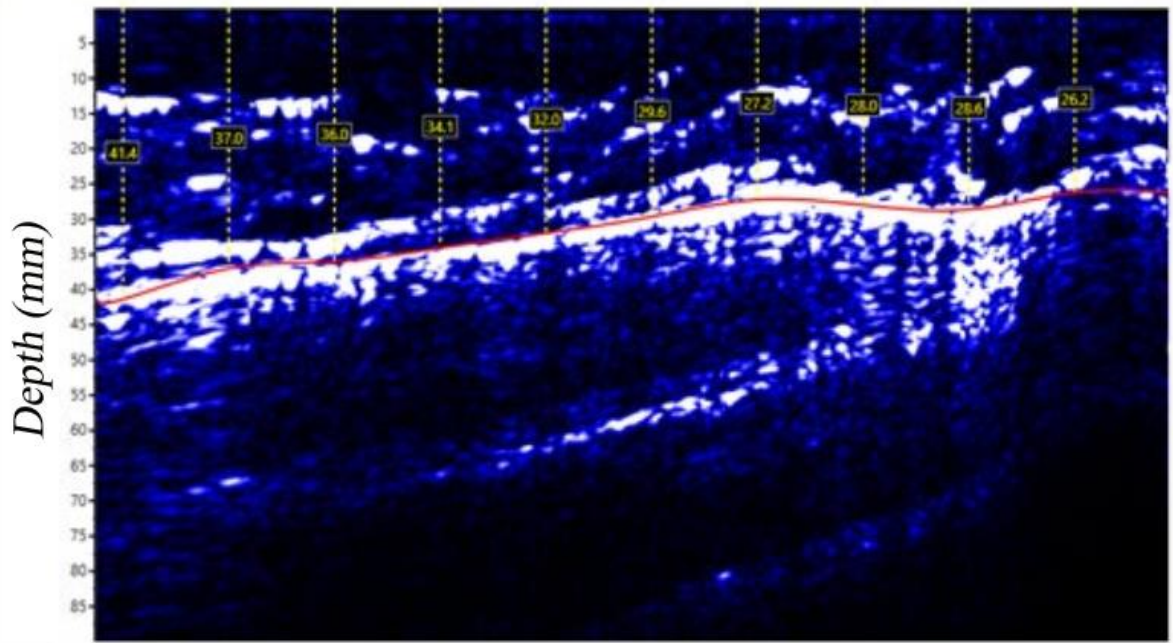


Fig.1. Scan from the front thigh showing the marked ten points fat thickness used to calculate the mean thickness value of each body region to estimate whole body fat. Collected and marked by the author.

The equations are presented below:

Equation 1:

$$\%BF = 72.55 + 0.2091*\text{triceps}(\text{mm}) + 0.3075*\text{abdomen}(\text{mm}) + 0.2998*\text{thigh}(\text{mm})$$

Equation 2:

$$\%BF = 28.94 + 0.1667*\text{triceps}(\text{mm}) + 0.1476*\text{abdomen}(\text{mm}) + 0.2880*\text{thigh}(\text{mm}) + 4.817*\text{sex}$$

Equation 3:

$$\%BF = 35.60 + 0.1695*\text{triceps}(\text{mm}) + 0.1418*\text{abdomen}(\text{mm}) + 0.2872*\text{thigh}(\text{mm}) + 4.423*\text{sex} - 0.03765*\text{height}(\text{cm})$$

The sex was considered as 0 if male and 1 if female, at each area scanned it was selected the ten first spots of thickness measurements on the marked image and the mean values were used in the equation. The height is presented in cm. the height and sex were the

variables with higher correlation with the %BF, it also represented a major impact on R^2 of the equations when included.

By the error analysis of the equations, equation three was the one with lower error values (RMSE, MAPE and SEE), this equation also presented higher values of R^2 and Lin's CCC, although according to McBride's classification of CCC, all three equations presented poor correlation (<0.90). Table 2.

Table 2: Metrics of concordance and errors of the predictive equations proposed compared to DXA.

EQUATION	R^2	RMSE	MAPE	SEE	CCC
1	0.73	3.96	6.46%	3.45	0.82
2	0.77	3.63	5.87%	2.99	0.85
3	0.77	3.58	5.84%	2.96	0.86

R^2 : coefficient of determination, RMSE: roots mean square error, MAPE: mean absolute percentage error, SEE: standard error of estimates, CCC: Lin's concordance correlation coefficient

The Bland Altman plots of the equations are presented in Figure 2 with the respective equation of the regression line and the R^2 of the curve. The first equation containing only the data from the scanned images was the equation with lower R^2 (0.73) but also with a lower bias (-0.17). The other equations present higher bias but also higher CCC and lower limits of agreements.

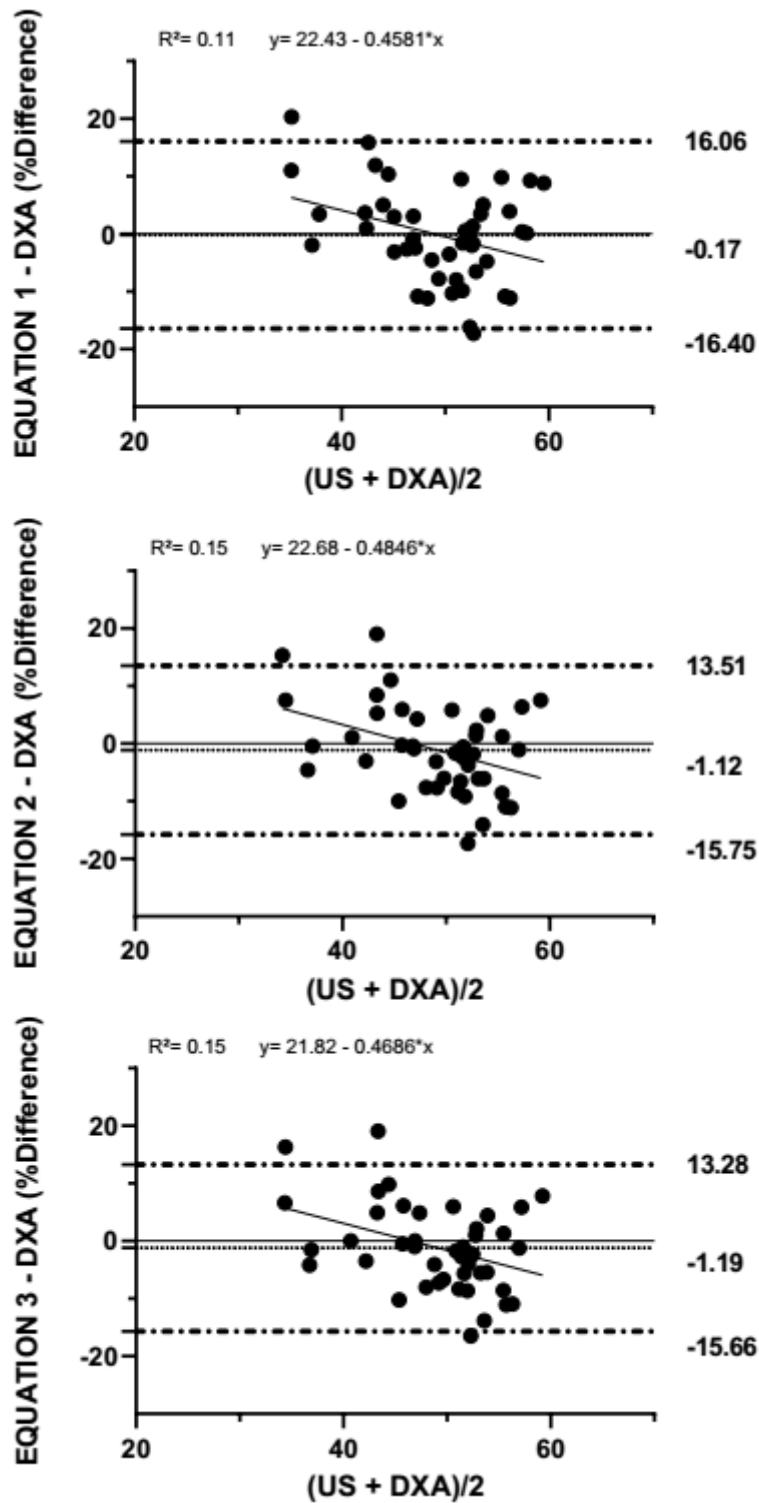


Fig. 2: Bland Altman plots of the three equations, the values of bias and limits of agreements represents the percentage of the difference. The coefficient of determination and the predictive equation are a result of the linear regression of the Bland-Altman results.

Discussion

The data from this study demonstrated that it is possible to evaluate body fat percentage direct from the analysis of US A-mode images using only three scans from different body parts, triceps, abdominal and thigh. The equations presented low bias by the Bland Altman analysis and satisfactory metrics of error, but they all presented poor CCC.

On a study with cadavers (WAGNER, Dale R, THOMPSON, *et al.*, 2018) noted that the A-mode US presented larger error on bodies with larger subcutaneous fat tissue thickness although they used a small sample of six cadavers. Later on a study with 40 volunteers from a wide BMI range, their group noticed the same pattern, with increasingly error to larger fat thickness tissues. (WAGNER, D.R., TERAMOTO, *et al.*, 2020)

Otherwise at a previous work of our group, A-mode US was compared with several other methods to estimate body composition including DXA and it presented higher bias compared to conventional anthropometric measurements when the same equations were applied independently of the BMI and the body fat percentage. This could be just a different interpretation of results as WAGNER studies analyzed raw error and we analyzed as a percentage of the difference, in order to normalize the values and avoid the influence of higher values of measurements.

When comparing different equations to estimate body composition by A-mode US with the use of specific anatomical sites measurements and anthropometric equations on a population with normal and overweight, (MICLOS-BALICA, MUNTEAN, *et al.*, 2021) found that the equation with more sites (7-sites Jackson and Pollock) was the one with more accurate results, with a mean bias of -0.5 %. Our equations using three measurements ranged a mean bias from -0.17 % to -1.19 % bias depending on the equation, presenting simpler equations with less variables and no need to identify specific anatomical sites on individuals with obesity.

When comparing the results of body fat percentage of US and SF at specific anatomical sites on military men, (NEVES, RIPKA, *et al.*, 2013) described that the US method presented higher values of body fat percentage due to the pinching done at the SF method. The use of US should then be more appropriate to be used on the population with obesity which is particularly difficult to pinch and for whom the body fat percentage is often described as being underestimated through most of the clinical methods due to different reasons as altered tissue hydration (COPPINI, WAITZBERG, *et al.*, 2005) difficult

identification of anatomical landmarks (SEBO, HERRMANN, *et al.*, 2017) inappropriate equipment (GRAY, BRAY, *et al.*, 1990).

It is difficult to compare our results directly with the literature, as this is the first paper to our knowledge to work with A-mode US images instead of anatomical specific sites applied to skinfold equations and other anthropometric measurements as described by the reviews of (BROECK, BUZZATTI, *et al.*, 2021) and (FERREIRA, SILVA, *et al.*, 2024). Also from all studies and equations cited on both reviews, there is only one study that developed equations to people with overweight and obesity.

Conclusion

To our knowledge this is the first study to develop and validate equations to estimate body composition from the scanned images and not from the specific anatomical sites using A-mode US. This gives an interesting advantage to facilitate the evaluation with US devices and especially to evaluate people with anatomical characteristics that make the identification and marking of anatomical sites difficult as patients with obesity. We expect our equations to be tested by other researchers and to instigate more studies on the development of equations with the use of A-mode US imaging due to the simplicity of the equipment transportation and use. We also believe that equations developed with the use of A-mode US images collected at other body regions, to other population, to estimate muscle mass and deeper regional fat content would be of great value to explore more possibilities of the use of this method.

6.3 MANUSCRITO 3

BODY CIRCUMFERENCE ESTIMATION OF ADULTS WITH OBESITY BY 2D SMARTPHONE PHOTO WITH THE USE OF COMPUTATIONAL VISION AND MACHINE LEARNING

Abstract :

Objective: The present study has the objective to test the accuracy of a virtual measurement method that is capable of measuring body circumferences through full-body smartphone pictures of adults with obesity. **Methods:** 226 volunteers (117 males), BMI $\geq 30\text{kg/m}^2$ had their body circumferences measured by an experienced trained anthropometrist and compared to the results of an estimation from a smartphone picture analysis by AI. The concordance between results was analyzed by Bland Altman plot and the correlation was analyzed by Lin's concordance correlation coefficient. **Results:** The measures related to thigh and calf presented lower bias when compared to manual measurements, the measures related to abdominal adiposity as waist and hip presented acceptable bias and the measurements of arm and forearm were the measures with higher bias. **Conclusions:** The technology tested shows a satisfactory result especially to eutrophic individuals, but still need adjustments to better evaluate body circumferences of adults with obesity.

Introduction

Anthropometry can be defined as the collection and correlation of body measurements, including height, weight, body size and shape. Anthropometric assessment is necessary as a basis for health monitoring, as its measurements correlate with the state of health and can previously indicate the emergence of diseases, as well as being related to physical activity or inactivity, guiding interventions necessary for the maintenance or improvement of quality of life (TUR, BIBLIONI, 2019).

The important role of body compartments in health has highlighted the assessment of body composition in research. When evaluating the various methods available for assessing body composition, it is important to consider which body compartment is being evaluated, the cost, validity and reproducibility of the values obtained, the applicability of the technique, the amount of training required, associated risks and availability and acquisition of necessary equipment (MIALICH, SICCHIERI, *et al.*, 2014).

The evaluation of anthropometry in the obese population tends to present greater measurement errors due to technical issues as the difficulty in finding the necessary anatomical points. Waist perimeter can be influenced by lumbar curvature and be hampered by the accumulation of local fat (BOREL, COUMES, *et al.*, 2018). Among the measurements commonly collected in a clinical anthropometric assessment, those related to abdominal obesity, such as the waist and abdomen diameter used in the Weltman equation (WELTMAN, LEVINE, *et al.*, 1988, WELTMAN, SEIP, *et al.*, 1987), tend to present higher intra and extra-evaluator error and the error tends to increase as the BMI increases (SEBO, HERRMANN, *et al.*, 2017).

The interest in the use of artificial intelligence (AI), especially machine learning (ML) and computer vision (CV), in the assessment of body composition has been gaining prominence as a way to reduce human measurement error and to shorten the time analysis (HIGGINS, MARQUARDT, *et al.*, 2021).

AI can be defined as a system that can mimic human cognition to accomplish tasks or it can be seen as a system capable of using data to assist, guide or influence its actions. ML can be understood as a system or algorithm capable of learning and improving tasks through the use of input data. CV is a technique used to analyze images, being able to identify and measure signals, to estimate measurements and classify objects. The possibility of creating neural networks capable of segmenting an image at the pixel level presents a good opportunity for creating precise tools to analyze body composition through images (WANG, TORRIANI, 2020).

The combination of these techniques makes it possible to create an AI capable of recognizing patterns to predict fat mass and body perimeters through digital signals obtained from photos, in addition to be the only method that can perform assessments at a distance as online follow-up (HARTY, SIEGLINGER, *et al.*, 2020, PLEUSS, TALTY, *et al.*, 2018).

The first step in training an ML algorithm consists of preparing images labeled with the structures that the algorithm must identify after training. The images are separated to form a training group and small groups for validation tests. Several neural networks with small structural differences are trained at the same time and those that perform best in the validation phases are selected. To evaluate the accuracy of the final model, it is applied to an image bank that has never been used (HIGGINS, MARQUARDT, *et al.*, 2021).

The accuracy of the measurements performed through CV image analysis depends not only on good training of the system using different regression models, but also on precise

body segmentation in the analyzed image. The more precise the segmentation step, better the accuracy of the photo assessment method when compared to conventional anthropometric assessment methods. (DE SOUZA, Joao W.M., HOLANDA, et al., 2020)

The anthropometric assessment of individuals with obesity through body images, using AI and CV, has great potential, being able to present accurate and easily reproduced measurements, reducing intra- and extra-errors of measurements (MEDINA-INOJOSA, SOMERS, et al., 2017).

The present study analyses the accuracy of a mobile app as a tool to estimate body circumferences against an experienced and highly trained evaluator. The app utilizes smartphone photos to estimate body composition and circumferences predicted through AI techniques that could be useful to easily evaluate individuals online or individuals with obesity reducing the expected error of measure.

Materials and Methods:

For the development of this study 226 adults with BMI ≥ 30 kg/m² from both sexes were evaluated. The volunteers were recruited through social media between September 2021 and February 2022. At the first contact, the volunteers self-reported their weight, height and data of birth and if eligible received the term of consent and the previous instructions and vestments required to the exam. If agreed to take part on the study the volunteer would schedule the visit on the lab.

The volunteers were instructed to not drink alcohol, or caffeine, perform exercises or go to a sauna 24 hours before the exam, and eat the last meal at least four hours before the exam. To perform the exams the volunteers were instructed to use the correct clothing which consisted of tight shorts and top or bikini for women and trunks for men. Volunteers with age under 18 or over 65, disabled or with locomotion difficulties and volunteers who did not follow the previous protocol to the exam were not eligible for the exam.

All exams were performed on the Laboratory to the Development of Foods for Special and Educational Purposes (Lab-DAFEE) at the Federal University of Rio de Janeiro (UFRJ). After arriving at the lab the volunteers signed the terms of consent and answered a questionnaire with social demographic, health and diet and exercise information as place of living, last meal before the exam, volume of water consumed daily, frequency and type of exercise practice, previous diagnoses, history of surgeries, regularity and period of menstrual cycle and number of births for women.

The volunteers had their body weight measured with the use of an InBody 270 device (InBody, Seoul, Korea) graded at 0.1 kg and the stature was measured at the Avanutri stadiometer AVA-305 (AvaNutri, Três Rios, Brazil), graded at 0.1 cm. The anthropometric circumferences were measured by an experienced highly trained evaluator with the use of a flexible no elastic anthropometric tape Avanutri (AvaNutri, Três Rios, Brasil), graded at 0.1 cm. The measures were collected as described by (MARFELL-JONES, OLDS, et al., 2006) following the ISAK protocol. The circumferences collected were

relaxed arm, forearm, waist, hip, thigh and calf. The measures were performed on duplicates and we used the mean value, the data collected was directly tabulated on an Excel spreadsheet, if the two measures from the same sight presented an error of at least 2%, a third measure was collected, and the median value was used.

The smartphone photo analysis of the circumferences was performed with the Shaped app as described by (SOUZA, João W M De, 2023). The volunteers were put in front of a white background and the smartphone was held one meter away from the volunteer at a stable pedestal. Four pictures from each volunteer were taken. The first one was taken with the volunteer at an anatomical position facing the camera with arms and legs open till the point they did not touch the trunk or each other respectively. The second and third pictures were taken to capture both sides of the volunteer, first the volunteer was instructed to turn the right side to the camera, put the feet together, put the left arm beside the trunk and lift the right arm. The same instructions were given to the left side with the right arm behind the trunk and the left arm lifted on the height of the shoulder. The fourth picture was taken on the same position as the first one but with the volunteer facing the white background. All the pictures were taken as duplicates and the ones with better positioning were uploaded to the app to be analyzed.

The data was tabulated on Excel spreadsheets and analyzed with the use of Graphpad Prism software version 9. The correlation of measures was tested through Bland-Altman analyses as percentage of error of the measures to avoid misinterpretation on larger measures from the obese individuals. The concordance was analyzed by Lin's concordance correlation coefficient (CCC) and classified according to (MCBRIDE, 2005) as: almost perfect concordance ($>0,99$); substantial concordance ($>0,95-0,99$); moderate concordance ($0,90-0,95$); and poor concordance ($<0,90$). (MCBRIDE, 2005)

Results:

In this study 226 volunteers from both sexes being 117 males (51.77%) and 109 females were evaluated through conventional anthropometry and 2D image analysis with the use of AI. The mean age was 41 ± 12 years, height 168.24 ± 9.67 cm, weight 97.42 ± 15.68 kg and BMI 34.33 ± 4.06 kg/m² for the whole group. Board 1 presents the mean values and standard deviation of each measure of the 226 volunteers measured by an experienced evaluator and the 2D photo analysis.

Table 1: Anthropometric measurements of the volunteers obtained by tape measurement and by AI photo analysis, divided by sex. The values are presented as means and standard deviation.

Body Circumferences (cm)	ANTHROPOMETRY			2D PHOTO		
	Male (117)	Female (109)	Total (226)	Male (117)	Female (109)	Total (226)
Arm	38.79 ± 2.82	37.01 ± 3.68	37.93 ± 3.38	37.02 ± 3.36	36.02 ± 5.13	36.54 ± 4.32
Forearm	30.76 ± 2.72	27.74 ± 2.14	29.30 ± 2.88	30.15 ± 2.19	26.86 ± 2.24	28.55 ± 2.76
Waist	104.35 ± 8.66	97.88 ± 9.76	101.23 ± 9.74	102.11 ± 8.07	95.66 ± 7.84	99 ± 8.58
Hip	111.60 ± 7.62	118.10 ± 9.66	114.73 ± 9.24	109.66 ± 8.45	117.52 ± 13.16	113.45 ± 11.44
Thigh	62.54 ± 5.25	63.72 ± 7.17	63.10 ± 6.26	62.35 ± 6.23	63.35 ± 6.45	62.83 ± 6.34
Calf	42.08 ± 2.67	41.72 ± 3.67	41.91 ± 3.19	41.98 ± 2.60	40.92 ± 3.20	41.47 ± 2.95

When comparing the measurements between the evaluator and the app a lower bias (-0.39%) to the thigh circumference and higher bias to the arm circumference (-4.05%) but at general the bias values were higher for all measures. Also, the limits of agreement intervals were higher for all measures. The obese individuals presented higher bias for all measures and higher limits of agreement for all measures when compared to eutrophic individuals (data not shown), this suggests that the algorithm used by the app estimates better the body circumferences of non-obese individuals and highlight the importance of developing equations population specific. The Figure 1 presents the Bland-Altman plots from all measures on the population investigated.

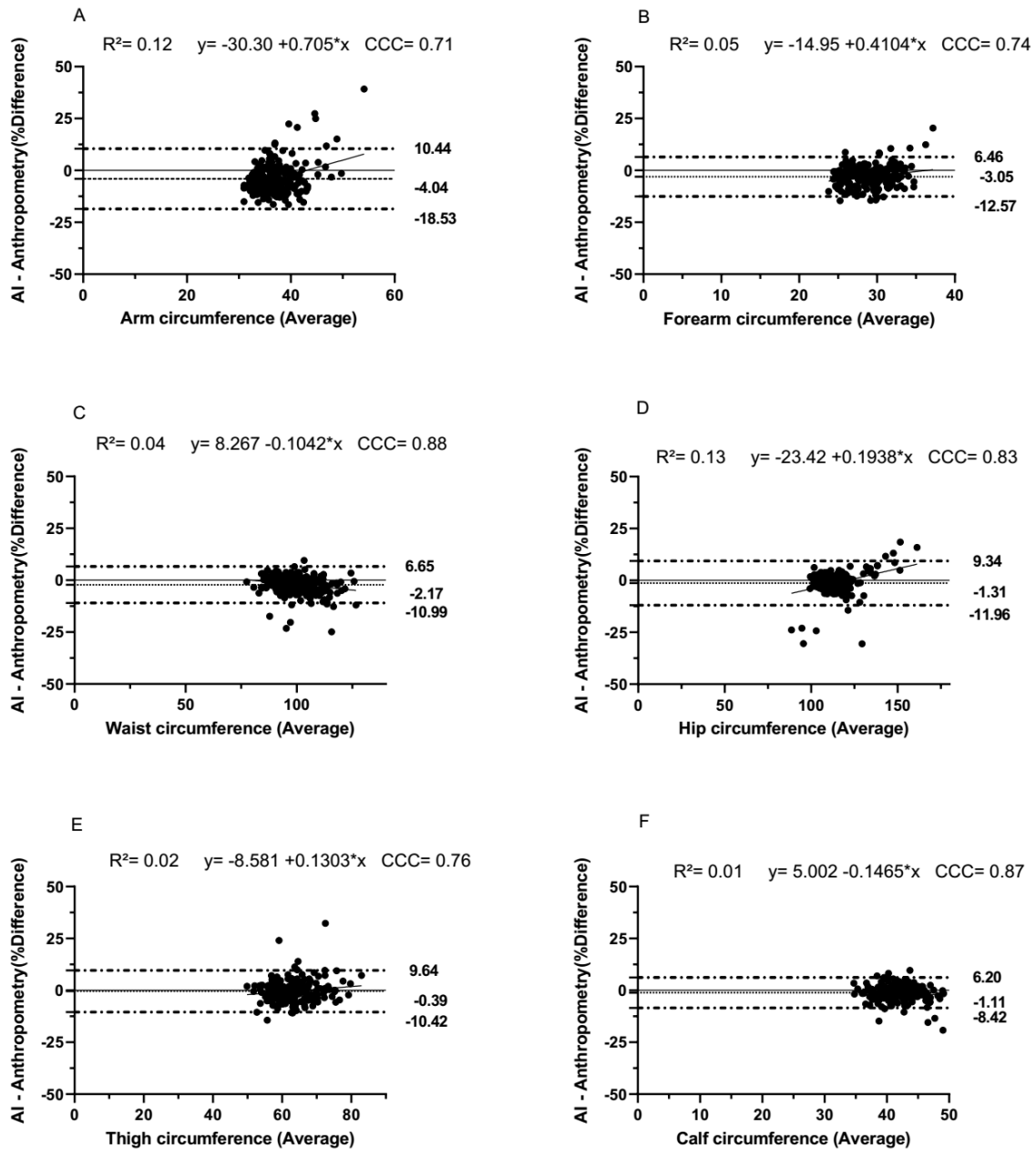


Fig.1: Bland-Altman plots from the AI photo analysis compared to conventional anthropometry, the values of bias and limits of agreements are presented as % of the error of the measures. The graphics represents the comparisons of measures of (A) arm, (B) forearm, (C) waist, (D) hip, (E) thigh, (F) calf. A simple linear regression was performed with the Bland-Altman data, the values of R^2 and the equations are presented on top of each graph as the Lin's CCC.

Discussion:

The data shows that an estimation of body circumferences of adults with obesity is possible and has the potential to be a good tool but still needs some adjustments. According to

McBride's classification of Lin's CCC all measures were classified as poor correlation being all lower than 0.9.

On a systematic review investigating the accuracy of 3D scanners in estimating body composition and anthropometric measures, (RUMBO-RODRÍGUEZ, SÁNCHEZ-SANSEGUNDO, *et al.*, 2021) that most of the equipment tested presented divergent results for body circumferences when compared to experience anthropometrist. From 18 studies analyzed only one did not show significant differences between the scanner and manual measurement, in general the results were conflicting when analyzing the accuracy of scanners with CCC varying from 0.6 to 0.96 depending on the equipment and technology used.

The author also highlights the importance of improving 2D and 3D technologies as applicable tools to improve the adherence of patients on programs dedicated to change weight and body composition specially on patients with higher BMI as the scanner precision is described to lower as the BMI increases. This loss of precision is expected as a consequence of inconsistencies in landmarking and partition positioning by the scan analysis algorithms (RUMBO-RODRÍGUEZ, SÁNCHEZ-SANSEGUNDO, *et al.*, 2021)

In a more recent review about digital anthropometry (MOCINI, CAMMAROTA, *et al.*, 2023) found a general CCC on the studies analyzed of 0.8 when digital and manual circumferences were compared. According to the author it is of great importance the development and testing of these new technologies in the evaluation and follow-up of patients, especially patients with higher BMI, that although with some significant bias compared to manual measuring, has a large potential to become an important tool in clinical practice on a near future.

When comparing measurements from trained anthropometrist of different levels of experience, (SEBO, BEER-BORST, *et al.*, 2008, SEBO, HERRMANN, *et al.*, 2017) found lower concordance to measures of central adiposity as hip and waist circumferences, and the errors were higher with the increase of the BMI. Our data showed that the technology analyzed performed satisfactory accuracy on estimating measures as the waist and hip circumferences, therefore could be used as a complementary tool to provide more precision and less effort on a conventional evaluation on measuring regions expected to present higher bias on population with obesity.

According to (WIGGERMANN, BRADTMILLER, *et al.*, 2019) the definitions on standard anthropometric dimensions based on eutrophic individuals cannot be applied to obtain data from individuals with obesity due to large variance in adiposity and body fat distribution.

The landmarking on this population is expected to be impaired and measurement sites are hard to determine. The limitations of the conventional set of measures are related to difficulties in keeping adequate posture from individuals with obesity due to more frequent joint comorbidities and altered range of motion, but also the anthropometric dimensions present a non-normal distribution. (WIGGERMANN, BRADTMILLER, *et al.*, 2019)

When analyzing the measures of waist circumference of a laser body scanner (BECKMANN, ALDAKAK, *et al.*, 2019) found higher deviation from manual anthropometric measurements on individuals with higher circumferences. That is important data to call for more studies evaluating the applicability of new technologies on people with obesity as this population may be one of the most benefited from the development of new technologies to access body composition.

Conclusion

2-D photo analysis could be of great use to the population with overweight and obesity enhancing the body measurement and composition analysis and increasing the treatment adherence. With the current technology it could be used as a complementary tool to evaluate measures of central obesity as those are the measures with higher error on manual evaluation and performed better on virtual evaluation, but to properly estimate all body measures the algorithm must include people with obesity on the development studies. The data presented here shows the importance of developing tools specific to population with obesity.

Individuals with obesity not only present completely different body dimensions that could impair the identification of body structures by a not properly trained AI, but also as the 2D photo analysis protocol is based on specific body positions, the different postures and difficulties on keeping at the adequate pose presented by individuals with obesity should be considered as possible reasons for the lower precision of the measures predicted.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

- Desenvolver e validar equações a partir de dados de BIA capazes de predizer de forma mais acurada o percentual de gordura corporal de indivíduos com obesidade

A presente dissertação se debruçou sobre formas de melhorar a avaliação antropométrica de indivíduos com obesidade. Sendo assim, buscou revisitar um modelo de avaliação muito frequente na prática clínica e propôs novas equações visando melhorar a acurácia da predição de percentual de gordura corporal por BIA. As equações propostas apresentaram menor viés do que a equação original do sistema da BIA utilizada no estudo, assim como apresentaram melhores resultados do que outras equações disponíveis na literatura.

- Propor um novo protocolo de utilização de dados de imagens de US modo-A para a predição do percentual de gordura corporal de indivíduos com obesidade.

O estudo propôs um através de um estudo piloto uma nova abordagem para avaliação da composição corporal através de imagens de US modo-A, convencionalmente utilizado para avaliação por espessura da camada de gordura em pontos anatômicos. Os dados apresentados demonstram a viabilidade de aplicação deste modelo de avaliação através de imagens de US modo-A, apresentando baixo viés e boa correlação com o DXA. Como pontos fracos nesta análise, o processamento de imagens manual pode ser trabalhoso, e a presença de poucos indivíduos do sexo masculino para a etapa de validação. Como pontos positivos, caso a proposta seja considerada válida, será possível acessar outros bancos de dados aumentando consideravelmente o número de indivíduos avaliados.

- Testar a acurácia em indivíduos com obesidade de um novo método de mensuração das circunferências corporais utilizando IA a partir de imagens 2D obtidas por fotografia.

Por fim, diante da importância da correta mensuração das circunferências corporais na avaliação e no acompanhamento clínico de indivíduos com obesidade e tendo em vista as dificuldades inerentes na avaliação antropométrica de indivíduos nesta condição, tivemos a oportunidade de testar a acurácia de uma proposta inovadora de predição das circunferências

corporais através de fotos de smartphones e análise por IA. A tecnologia avaliada, desenvolvida inicialmente para a população em geral, apresentou um desempenho promissor. Das seis medidas analisadas e comparadas às realizadas por um antropometrista, três apresentaram vieses aceitáveis, enquanto outras três apresentaram erros superiores ao erro de 2% comumente considerado como aceitável na literatura da área. Os dados sugerem que a tecnologia precisa de ajustes nos algoritmos incluindo mais dados com imagens de indivíduos com obesidade para que possa avaliar de maneira mais acurada todas as medidas a que se propõe.

De forma geral, nosso objetivo foi municiar os profissionais de saúde com melhores ferramentas os tornando capazes de tomar decisões mais assertivas no tratamento e acompanhamento de pacientes com obesidade.

Os dados aqui apresentados em forma de propostas de publicação representam parte do que foi coletado, havendo a possibilidade de mais publicações, ou publicações mais completas incluindo análises segmentares, avaliação da massa muscular, gordura visceral, entre outras informações importantes e que devem fazer parte da rotina clínica de indivíduos com obesidade.

7 REFERÊNCIAS

ABESO. "Diretrizes Brasileiras de Obesidade", **Associação Brasileira para o Estudo da Obesidade e da Síndrome Metabólica**, v. 4, 2016. .

AHN, S. H., WANG, C., SHIN, G. W., *et al.* "Comparison of Clustering Methods for Obesity Classification", **IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management**, v. 2019- Decem, p. 1821–1825, 2019. DOI: 10.1109/IEEM.2018.8607277. .

ALVES, S. S. A., OHATA, E. F., JUNIOR, P. C. S., *et al.* "Sex-based approach to estimate human body fat percentage from 2D camera images with deep learning and machine learning", **Measurement**, v. 219, p. 113213, 2023. .

ALVES, S. S. A., OHATA, E. F., NASCIMENTO, N. M. M., *et al.* "Gender-based approach to estimate the human body fat percentage using Machine Learning". 2021. **Anais [...]** [S.l: s.n.], 2021. p. 1–8.

ASSUMPCÃO, D. de, FERRAZ, R. de O., BORIM, F. S. A., *et al.* "Pontos de corte da circunferência da cintura e da razão cintura/estatura para excesso de peso: estudo transversal com idosos de sete cidades brasileiras, 2008-2009", **Epidemiologia e serviços de saúde: Revista do Sistema Unico de Saude do Brasil**, v. 29, n. 4, p. e2019502, 2020. DOI: 10.5123/s1679-49742020000300003. .

BAYS, Harold E. "Adiposopathy: Is “ Sick Fat ” a Cardiovascular Disease?", **Journal of the American College of Cardiology**, v. 57, n. 25, p. 2461–2473, 2011. DOI: 10.1016/j.jacc.2011.02.038. .

BAYS, Harold Edward, GONSAHN-BOLLIE, S., YOUNGLOVE, C., *et al.* "Obesity Pillars Roundtable: Body mass index and body composition in Black and Female individuals . Race-relevant or racist ? Sex-relevant or sexist ?", **Obesity Pillars**, v. 4, n. November, p. 100044, 2022. DOI: 10.1016/j.obpill.2022.100044. .

BEAUDART, C., BRUYÈRE, O., GEERINCK, A., *et al.* "Equation models developed with bioelectric impedance analysis tools to assess muscle mass : A systematic review", **Clinical Nutrition ESPEN**, v. 35, p. 47–62, 2020. DOI: 10.1016/j.clnesp.2019.09.012.

BECKMANN, C., ALDAKAK, L., EPPENBERGER, P., *et al.* "Body height and waist circumference of young Swiss men as assessed by 3D laser- based photonic scans and by manual anthropometric measurements", **PeerJ**, v. 7, p. e8095, 2019. DOI: 10.7717/peerj.8095. .

BERNHARD, A. B., SANTO, M. A., SCABIM, V. M., *et al.* "Body Composition Evaluation in Severe Obesity : A Critical Review", **Advances in Obesity, Weight Management & Control**, v. 4, n. 6, p. 00113, 2016. DOI: 10.15406/aowmc.2016.04.00113. .

BLAND, J. M., ALTMAN, D. G. "Measuring agreement in method comparison studies", **Statistical Methods in Medical Research**, v. 8, n. 2, p. 135–160, 1999. .

BOREL, A., COUMES, S., RECHE, F., *et al.* "Waist, neck circumferences, waist-to-hip ratio: Which is the best cardiometabolic risk marker in women with severe obesity? The SOON cohort", **PloS one**, v. 13, n. 11, p. 1–15, 2018. .

BORGA, M., WEST, J., BELL, J. D., *et al.* "Advanced body composition assessment: From body mass index to body composition profiling", **Journal of Investigative Medicine**, v. 66, n. 5, p. 887–895, 2018. DOI: 10.1136/jim-2018-000722. .

BRAGANÇA, M. L. B. M., OLIVEIRA, B. R. de, FONSECA, J. M., *et al.* "Avaliação do perfil de biomarcadores sanguíneos em adolescentes classificados pelo índice de massa corporal e percentual de gordura corporal", **Cadernos de Saúde Pública**, v. 36, n. 6, p. 1–13, 2020. DOI: 10.1590/0102-311X00084719. .

BROECK, J. Van Den, BUZZATTI, L., JAGER-WITTENAAR, H., *et al.* "The validity of ultrasound-derived equation models to predict whole-body muscle mass: A

systematic review", **Clinical Nutrition ESPEN**, v. 46, p. 133–141, 2021. DOI: 10.1016/j.clnesp.2021.08.012. .

CANCELLO, R., ZULIAN, A., GENTILINI, D., *et al.* "Molecular and Morphologic Characterization of Superficial- and Deep-Subcutaneous Adipose Tissue Subdivisions in Human Obesity", **Obesity Biology and Integrated Physiology**, v. 21, n. 12, p. 2562–2570, 2013. .

CARVALHO, W. R. C., FRANÇA, A. K. T. da C., SANTOS, A. M. dos, *et al.* "Pontos de corte da circunferência do pescoço e da relação cintura-estatura como preditores da obesidade e risco cardiovascular em adolescentes", **Revista de Saúde Pública**, v. 57, n. 24, p. 1–14, 2023. .

CENICCOLA, G. D., CASTRO, M. G., PIOVACARI, S. M. F., *et al.* "Current technologies in body composition assessment: advantages and disadvantages", **Nutrition**, v. 62, p. 25–31, 2019. DOI: 10.1016/j.nut.2018.11.028. .

CHARTER, R. A. "REVISITING THE STANDARD ERRORS OF MEASUREMENT, ESTIMATE, AND PREDICTION AND THEIR APPLICATION TO TEST SCORES", **Perceptual and Motor Skills**, v. 82, p. 1139–1144, 1996. .

CHEN, Y., KAO, T., FANG, W., *et al.* "Body Fat Percentage in Relation to Lung Function in Individuals with Normal Weight Obesity", **Scientific Reports**, v. 9, n. 3066, p. 1–7, 2019. DOI: 10.1038/s41598-019-38804-3. .

CHRISTOPOULOU-ALETRA, H., PAPAVERAMIDOU, N., POZZILLI, P. "Obesity in the Neolithic Era: A Greek Female Figurine", **Obesity Surgery**, v. 16, p. 1112–1114, 2006. .

COPPINI, L. Z., WAITZBERG, D. L., CAMPOS, A. C. L. "Limitations and validation of bioelectrical impedance analysis in morbidly obese patients", **Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care**, v. 8, p. 329–332, 2005. .

COSTA, L. S. G., PONCIO, S. N. A. B., DE OLIVEIRA, E. C., *et al.* "PREVALÊNCIA DAS INTERNAÇÕES HOSPITALARES POR OBESIDADE NO BRASIL, ENTRE 2018 E 2022.", **Brazilian Journal of Implantology and Health Sciences**, v. 5, n. 4, p. 1395–1406, 2023. .

CZARTORYSKI, P., GARCIA, J., MANIMALETH, R., *et al.* "Body Composition Assessment: A Comparison of the DXA , InBody 270 , and Omron", **Journal of Exercise and Nutrition**, v. 3, n. 1, p. 1–6, 2020. .

DE LORENZO, A., GRATTERI, S., GUALTIERI, P., *et al.* "Why primary obesity is a disease?", **Journal of Translational Medicine**, v. 17, n. 1, p. 1–13, 2019. DOI: 10.1186/s12967-019-1919-y. .

DE SÁ, M. M., DA SILVA, G. S., COSTA, M. F., *et al.* "INFLAMAÇÃO CRÔNICA DECORRENTE DA OBESIDADE E COMORBIDADES RELACIONADAS", **Estudos Interdisciplinares em Ciências da Saúde**, v. 1, p. 24–36, 2021. .

DE SOUZA, Joao W.M., HOLANDA, G. B., IVO, R. F., *et al.* "Predicting body measures from 2D images using Convolutional Neural Networks", **2020 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)**, p. 1–6, 2020. DOI: 10.1109/IJCNN48605.2020.9207330. .

DUDEK, F. J. "The Continuing Misinterpretation of the Standard Error of Measurement", **Psychological Bulletin**, v. 86, n. 2, p. 335–337, 1979. .

EKNOYAN, G. "Adolphe Quetelet (1796-1874) - The average man and indices of obesity", **Nephrology Dialysis Transplantation**, v. 23, n. 1, p. 47–51, 2008. DOI: 10.1093/ndt/gfm517. .

FERREIRA, L. F., SILVA, E. B. da, BOMFIM, A. B. C. "Validity and reliability of portable A-mode ultrasound in measuring body fat percentage: A systematic review with meta-analysis", **plos one**, v. 19, n. 2, p. 1–18, 2024. DOI: 10.1371/journal.pone.0292872. .

FOX, C. S., MASSARO, J. M., HOFFMANN, U., *et al.* "Abdominal Visceral and Subcutaneous Adipose Tissue Compartments Association With Metabolic Risk Factors in the Framingham Heart Study", **Circulation**, v. 116, n. 1, p. 39–48, 2007. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.106.675355. .

GARVEY, W. T. "Bariatric endocrinology: Evaluation and management of adiposity, adiposopathy and related diseases", **Bariatric Endocrinology: Evaluation and Management of Adiposity, Adiposopathy and Related Diseases**, p. 121–143, 2019. DOI: 10.1007/978-3-319-95655-8. .

GENNÉ-BACON, E. A. "Thinking Evolutionarily About Obesity", **Yale Journal of Biology and Medicine**, v. 87, n. 2, p. 99–112, 2014. .

GRAY, D. S., BRAY, G. A., BAUER, M., *et al.* "Skinfold thickness measurements in obese", **American Journal of Clinical Nutrition**, v. 51, n. April, p. 571–577, 1990. .

HARTY, P. S., SIEGLINGER, B., HEYMS, S. B., *et al.* "Novel body fat estimation using machine learning and 3-dimensional optical imaging", **European Journal of Clinical Nutrition**, v. 74, n. 5, p. 842–845, 2020. DOI: 10.1038/s41430-020-0603-x. .

HIGGINS, M. I., MARQUARDT, J. P., MASTER, V. A., *et al.* "Machine Learning in Body Composition Analysis", **European Urology Focus**, v. 7, n. (4), p. 713–716, 2021. DOI: 10.1016/j.euf.2021.03.013. .

HOFFMANN, J., THIELE, J., KWAST, S., *et al.* "Measurement of subcutaneous fat tissue: reliability and comparison of caliper and ultrasound via systematic body mapping", **Scientific Reports**, v. 12, n. 0123456789, p. 1–11, 2022. DOI: 10.1038/s41598-022-19937-4. .

HOFSTEENGE, G. H., CHINAPAW, M. J. M., WEIJS, P. J. M. "Fat-free mass prediction equations for bioelectric impedance analysis compared to dual energy X-ray absorptiometry in obese adolescents : a validation study", **BMC Pediatrics**, 2015. DOI: 10.1186/s12887-015-0476-7. .

HO-PHAM, L. T., CHI, H., CITY, M., *et al.* "LETTERS TO THE EDITOR LETTERS TO THE More on Body Fat Cutoff Points For personal use . Mass reproduce only with permission from Mayo For personal use . Mass reproduce only with permission from Mayo a Clinic Proceedings .", p. 4–5, 2011. DOI: 10.4065/mcp.2011.0156. .

HORIE, L. M., BARBOSA-SILVA, M. C. G., MELLO, R. S. T. M. T. de, *et al.* "New body fat prediction equations for severely obese patients", **Clinical Nutriron**, v. 27, p. 350–356, 2008. DOI: 10.1016/j.clnu.2008.03.011. .

IBRAHIM, M. M. "Subcutaneous and visceral adipose tissue: structural and functional differences", **Obesity Reviews**, v. 11, p. 11–18, 2010. DOI: 10.1111/j.1467-789X.2009.00623.x. .

JOSHIPURA, K., MUÑOZ-TORRES, F., VERGARA, J., *et al.* "Neck Circumference May Be a Better Alternative to Standard Anthropometric Measures", **Journal of Diabetes Research**, v. 2016, 2016. DOI: 10.1155/2016/6058916. .

KROLL, C., MASTROENI, S. S. B. S., CZARNOBAY, S. A., *et al.* "The accuracy of neck circumference for assessing overweight and obesity: A systematic review and meta-analysis", **Annals of Human Biology**, v. 0, n. 0, p. 000, 2017. DOI: 10.1080/03014460.2017.1390153. .

KUEHNE, T. E., YITZCHAKI, N., JESSEE, M. B., *et al.* "A comparison of acute changes in muscle thickness between A-mode and B-mode ultrasound", **Physiological Measurement**, v. 40, n. 11, p. 115004, 2019 .

LINDSEY, C., SHEATHER, S. "Variable selection in linear regression", **The Stata Journal**, v. 10, n. 4, p. 650–669, 2010. .

LIU, J., FOX, C. S., HICKSON, D. A., *et al.* "Impact of Abdominal Visceral and Subcutaneous Adipose Tissue on Cardiometabolic Risk Factors: The Jackson Heart Study", **The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism**, v. 95, n. 12, p. 5419–5426, 2010. DOI: 10.1210/jc.2010-1378. .

LUSTIG, R. H., FENNOY, I. "The History of Obesity Research", **Hormone Research in Paediatrics**, v. 95, n. 6, p. 638–648, 2022. DOI: 10.1159/000526520. .

MAHMOUD, I., AL-WANDI, A. S., GHARAIBEH, S. S., *et al.* "Concordances and correlations between anthropometric indices of obesity: a systematic review", **Public Health**, v. 198, p. 301–306, 2021. DOI: 10.1016/j.puhe.2021.07.042. .

MARFELL-JONES, M., OLDS, T., STEWART, A., *et al.* **ISAK Padrões Internacionais para Avaliação Antropométrica**. [S.l: s.n.], 2006.

MARRA, M., SAMMARCO, R., LORENZO, A. De, *et al.* "Assessment of Body Composition in Health and Disease Using Bioelectrical Impedance Analysis (BIA) and Dual Energy X-Ray Absorptiometry (DXA): A Critical Overview", **Contrast Media & Molecular imaging**, v. 2019, p. 9, 2019. .

MARTIN, A. D., DRINKWATER, D. T. "Variability in the Measures of Body Fat Assumptions or Technique?", **Journal of Sports Medicine**, v. 11, n. 5, p. 277–288, 1991. .

MATTIELLO, R., ZIEGELMANN, P. K. **Valores de referência do ângulo de fase da bioimpedância elétrica**. 2020. 1–56 f. 2020.

MCBRIDE, G. B. "A Proposal for Strength-of-Agreement Criteria for Lin's Concordance Correlation Coefficient", **NIWA Client Report: HAM2005-062**, v. 45, p. 307–310, 2005. .

MEDINA-INOJOSA, J., SOMERS, V. K., NGWA, T., *et al.* "Reliability of a 3D Body Scanner for Anthropometric Measurements of Central Obesity", **Obesity, open access**, v. 2, n. 3, p. 1–9, 2017. .

MIALICH, M. S., SICCHIERI, J. M. F., JUNIOR, A. A. J. "Analysis of Body Composition: A Critical Review of the Use of Bioelectrical Impedance Analysis", **International Journal of Clinical Nutrition**, v. 2, n. 1, p. 1–10, 2014. DOI: 10.12691/ijcn-2-1-1. .

MICLOS-BALICA, M., MUNTEAN, P., SCHICK, F., *et al.* "Reliability of body composition assessment using A-mode ultrasound in a heterogeneous sample", **European Journal of Clinical Nutrition**, v. 75, n. 3, p. 438–445, 2021. DOI: 10.1038/s41430-020-00743-y. .

MOCINI, E., CAMMAROTA, C., FRIGERIO, F., *et al.* "Digital Anthropometry: A Systematic Review on Precision, Reliability and Accuracy of Most Popular Existing Technologies", **Nutrients**, v. 15, n. 302, p. 1–39, 2023. .

MONTAÑEZ, C. A. C., FERGUS, P., MONTAÑEZ, A. C., *et al.* "Deep Learning Classification of Polygenic Obesity using Genome Wide Association Study SNPs", **Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks**, v. 2018-July, 2018. DOI: 10.1109/IJCNN.2018.8489048. .

NAKAGAWA, S., JOHNSON, P. C. D., SCHIELZETH, H. "The coefficient of determination R^2 and intra-class correlation coefficient from generalized linear mixed-effects models revisited and expanded", **Journal of the Royal Society Interface**, v. 14, p. 2–11, 2017. .

NEEL, J. V. "Diabetes Mellitus : A " Thrifty " Genotype Rendered Detrimental by " Progress "?", **American Journal of Human Genetics**, v. 14, p. 353–362, 1962. .

NEVES, E. B., RIPKA, W. L., ULBRICHT, L., *et al.* "COMPARAÇÃO DO PERCENTUAL DE GORDURA OBTIDO POR BIOIMPEDÂNCIA, ULTRASSOM E DOBRAS CUTÂNEAS EM ADULTOS JOVENS", **Brazilian Journal of Sports Medicine**, v. 19, n. 5, p. 323–327, 2013. .

PAPAVRAMIDOU, N., CHRISTOPOULOU-ALETRA, H. "Greco-Roman and Byzantine Views on Obesity", **Obesity Surgery**, v. 17, p. 112–116, 2007. .

PINEAU, J., LALYS, L., BOCQUET, M., *et al.* "Ultrasound Measurement of Total Body Fat in Obese Adolescents", **Annals of Nutrition & Metabolism**, v. 56, p. 36–44, 2010. DOI: 10.1159/000265849. .

PITANGA, F. J. G. "Antropometria na avaliação da obesidade abdominal e risco coronariano", **Revista Brasileira de Cineantropometria e Desempenho Humano**, v. 13, n. 3, p. 238–241, 2011. DOI: 10.5007/1980-0037.2011v13n3p238. .

PLEUSS, J. D., TALTY, K., MORSE, S., *et al.* "A machine learning approach relating 3D body scans to body composition in humans", **European Journal of Clinical Nutrition**, v. 73, n. 2, p. 200–208, 2018. DOI: 10.1038/s41430-018-0337-1. .

PONTI, F., CINQUE, A. De, FAZIO, N., *et al.* "Ultrasound imaging , a stethoscope for body composition assessment", **Quantitative Imaging in Medicine and Surgery**, v. 10, n. 8, p. 1699–1722, 2020. DOI: 10.21037/qims-19-1048. .

PONTI, F., SANTORO, A., MERCATELLI, D., *et al.* "Aging and Imaging Assessment of Body Composition : From Fat to Facts", **Frontiers in Endocrinology**, v. 10, p. 861, 2020. DOI: 10.3389/fendo.2019.00861. .

RANILOVIC, D. **Analysis of body composition performed by bioimpedance in obese patients with hypertension.** 2019. 2019.

ROTHMAN, K. J. "BMI-related errors in the measurement of obesity", **International Journal of Obesity**, v. 32, p. S56–S59, 2008. DOI: 10.1038/ijo.2008.87. .

ROUBENOFF, R., BAUMGARTNER, R. N., HARRIS, T. B., *et al.* "Application of Bioelectrical Impedance Analysis to Elderly Populations", **Journal of Gerontology**, v. 52, n. 3, p. 129–136, 1997. .

RUMBO-RODRÍGUEZ, L., SÁNCHEZ-SANSEGUNDO, M., FERRER-CASCALES, R., *et al.* "Comparison of Body Scanner and Manual Anthropometric Measurements of Body Shape: A Systematic Review", **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 18, n. 6213, 2021. .

RUSH, E. C., CROWLEY, J., FREITAS, I. F., *et al.* "Validity of Hand-to-Foot Measurement of Bioimpedance: Standing Compared with Lying Position", **Obesity**, v. 14, n. 2, p. 252–257, 2006. .

SALAROLIA, L. B., MARTINS, C. A. "Índice de conicidade: um indicador antropométrico de obesidade abdominal", **Journal of Human Growth and Development**, v. 32, n. 3, p. 181–184, 2022. DOI: 10.36311/jhgd.v32.13845. .

SEBO, P., BEER-BORST, S., HALLER, D. M., *et al.* "Reliability of doctors' anthropometric measurements to detect obesity", **Preventive Medicine**, v. 47, p. 389–393, 2008. DOI: 10.1016/j.ypmed.2008.06.012. .

SEBO, P., HERRMANN, F. R., HALLER, D. M. "Accuracy of anthropometric measurements by general practitioners in overweight and obese patients", **BioMed Central Obesity**, v. 4, n. 23, p. 1–7, 2017. DOI: 10.1186/s40608-017-0158-0. .

SILVA, L. B., OLIVEIRA, B. M. P. M., CORREIA, F. "Evolution of body composition of obese patients undergoing bariatric surgery", **Clinical Nutrition ESPEN**, v. 31, p. 95–99, 2019. DOI: 10.1016/j.clnesp.2019.02.002. .

SNITKER, S. "Use of body fatness cutoff points", **Mayo Clinic Proceedings**, v. 85, n. 11, p. 1057, 2010. DOI: 10.4065/mcp.2010.0583. .

SOSSOU, I. S., DA SILVA, G. E. M., DE OLIVEIRA, C. E. P., *et al.* "BIOIMPEDÂNCIA ELÉTRICA NA AVALIAÇÃO DA COMPOSIÇÃO CORPORAL: UMA REVISÃO DOS PRINCÍPIOS BIOFÍSICOS, DIFERENTES TIPOS, ASPECTOS METODOLÓGICOS, VALIDADE E APLICABILIDADE DE SUAS MEDIDAS", **Revista Brasileira de Obesidade, Nutrição e Emagrecimento**, v. 16, n. 102, p. 596–604, 2022. .

SOUZA, João W M De. **UMA ABORDAGEM PARA A ESTIMATIVA DE MEDIDAS ANTROPOMÉTRICAS A PARTIR DE IMAGENS 2D UTILIZANDO MACHINE LEARNING**. 2023. 1–54 f. 2023.

SOUZA, João W M de, HOLANDA, G. B., IVO, R. F., *et al.* "Predicting body measures from 2D images using Convolutional Neural Networks". 2020. **Anais [...]** [S.l: s.n.], 2020. p. 1–6.

TUR, J. A., BIBLIONI, M. del M. "Anthropometry , Body Composition and Resting Energy Expenditure in Human", **Nutrients**, v. 11, p. 14–16, 2019. .

UYANIK, K. G., NESE, G. "A study on multiple linear regression analysis", **Social and Behavioral Sciences**, v. 106, p. 234–240, 2013. DOI: 10.1016/j.sbspro.2013.12.027. .

VILALTA, A., GUTIÉRREZ, J. A., CHAVES, S., *et al.* "Adipose tissue measurement in clinical research for obesity, type 2 diabetes and NAFLD/ NASH", **Endocrinology, Diabetes & Metabolism**, v. 5, p. 1–9, 2022. DOI: 10.1002/edm2.335. .

WAGNER, Dale. R. "Ultrasound as a tool to assess body fat", **Journal of Obesity**, v. 2013, p. 9, 2013. DOI: 10.1155/2013/280713. .

WAGNER, Dale R, THOMPSON, B. J., ANDERSON, D. A., *et al.* "A-mode and B-mode ultrasound measurement of fat thickness : a cadaver validation study", **European Journal of Clinical Nutrition**, v. 73, n. 4, 2018. DOI: 10.1038/s41430-018-0085-2. .

WAGNER, D.R., TERAMOTO, M., JUDD, T., *et al.* "COMPARISON OF A-MODE AND B-MODE ULTRASOUND FOR MEASUREMENT OF", **Ultrasound in Medicine & Biology**, v. 46, n. 4, p. 944–951, 2020. DOI: 10.1016/j.ultrasmedbio.2019.11.018. .

WANG, B., TORRIANI, M. "Artificial Intelligence in the Evaluation of Body Composition", **Seminars in Musculoskeletal Radiology**, v. 1, n. 212, p. 30–37, 2020. .

WARD, L. C., BRANTLOV, S. "Bioimpedance basics and phase angle fundamentals", **Reviews in Endocrine and Metabolic Disorders**, v. 24, n. 3, p. 381–391, 2023. DOI: 10.1007/s11154-022-09780-3. .

WELTMAN, A., LEVINE, S., SEIP, R. L., *et al.* "Accurate assessment of body composition in obese females", **American Journal of Clinical Nutrition**, v. 48, p. 1179–83, 1988. .

WELTMAN, A., SEIP, R. L., TRAN, Z. V. U. "Practical Assessment of Body Composition in Adult Obese Males", **Human Biology**, v. 59, n. 3, p. 523–535, 1987. .

WIGGERMANN, N., BRADTMILLER, B., BUNNELL, S., *et al.* "Anthropometric Dimensions of Individuals With High Body Mass Index", **Human Factors**, v. 61, n. 8, p. 1277–1296, 2019. DOI: 10.1177/0018720819839809. .

YANG, H. I., CHO, W., AHN, K. Y., *et al.* "A new anthropometric index to predict percent body fat in young adults", **Public Health Nutrition**, v. 23, n. 9, p. 1507–1514, 1 jun. 2020. DOI: 10.1017/S1368980019004191. .

ANEXOS

ANEXO 1. PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

UFRJ - HOSPITAL
UNIVERSITÁRIO CLEMENTINO
FRAGA FILHO DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO
RIO DE JANEIRO / HUCFF-
UFRJ



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: Avaliação antropométrica da população adulta brasileira: análise dos componentes corporais por diversos métodos existentes.

Pesquisador: Tathiany Jéssica Ferreira

Área Temática:

Versão: 2

CAAE: 53480021.2.0000.5257

Instituição Proponente: Instituto de Nutrição Josué de Castro

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio
FUN CARLOS CHAGAS F. DE AMPARO A PESQUISA DO ESTADO DO RIO DE
JANEIRO - FAPERJ
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 5.271.068

Apresentação do Projeto:

Trata-se de pesquisa comparativa entre métodos de avaliação da composição corporal, frequentemente utilizada na prática clínica para avaliação e monitoramento nutricional.

Objetivo da Pesquisa:

Avaliar a concordância entre a densitometria óssea (padrão ouro) e os diferentes métodos existentes para avaliação da composição corporal e conteúdo/densidade mineral ósseo. Avaliar a concordância entre as balanças de bioimpedância; Avaliar a concordância entre ultrassom e dobra cutânea, por serem métodos dependentes do avaliador; Avaliar a concordância entre os perímetros mensurados pelo avaliador e pelo sistema de visão computacional; Criar um perfil antropométrico da população avaliada; Investigar possíveis variáveis interferentes na concordância entre os métodos; Desenvolver uma equação para estimativa do conteúdo/densidade mineral ósseo de acordo com os dados de diâmetro e resultados obtidos por absorciometria de raio-X de dupla energia (DXA); Desenvolver uma equação para estimativa do percentual de gordura de acordo com os dados de perímetros, espessura de gordura e resultados obtidos por DXA.

Endereço: Rua Prof. Rodolpho Paulo Rocco Nº255, 7º andar, Ala E
Bairro: Cidade Universitária **CEP:** 21.941-913
UF: RJ **Município:** RIO DE JANEIRO
Telefone: (21)3938-2480 **Fax:** (21)3938-2481 **E-mail:** cep@hucff.ufrj.br

**UFRJ - HOSPITAL
 UNIVERSITÁRIO CLEMENTINO
 FRAGA FILHO DA
 UNIVERSIDADE FEDERAL DO
 RIO DE JANEIRO / HUCFF-
 UFRJ**



Continuação do Parecer: 5.271.000

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Com relação a eventuais desconfortos, o sujeito da pesquisa poderá, eventualmente, se sentir moderadamente envergonhado (a) no momento da realização da pesquisa. Como forma de minimizar esse desconforto, os procedimentos serão todos conduzidos por um profissional especializado em um espaço reservado e estruturado. Durante todo o período da pesquisa e na divulgação dos resultados, a privacidade do participante será respeitada, ou seja, nome ou qualquer outro dado ou elemento que possa, de alguma forma, identificar o mesmo, ser mantido em sigilo. A exposição resultante do exame DXA, a partir de uma análise de corpo inteiro, é relativamente pequena (~ 0,3 Sv) e é menor do que a inevitável exposição diária a radiação (~2,0 Sv/24 h) e muito inferior a outros exames, como rai-x (50 Sv), tomografia computadorizada da pélvis (5,000 Sv) e mamografia (130 Sv). Para garantir a confidencialidade e a anonimização dos dados, todas as informações serão codificadas e armazenadas em banco de dados criptografado. Caso o sujeito da pesquisa decida participar dessa pesquisa, ganhará a análise corporal gratuita feita pelo método de perímetros e dobras cutâneas, BIA e DXA. Contribuirá para a avaliação da concordância dos métodos utilizados na prática clínica, no possível desenvolvimento de equações para estimar percentual de gordura, conteúdo mineral ósseo e densidade mineral óssea para a população brasileira utilizando variáveis simples e que não dependam de métodos caros e inacessíveis, além de participar da análise antropométrica da população.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

Trata-se de uma pesquisa clínica observacional, transversal, que avaliará a concordância entre a densitometria óssea e outros métodos existentes para avaliação dos componentes corporais em adultos brasileiros.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Todos os termos necessários foram apresentados.

Recomendações:

Recomendo o aceite do projeto pelo CEP e recomendo que a pesquisadora não se esqueça de inserir os relatórios semestrais dos resultados da pesquisa na plataforma Brasil.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Todas as pendências apontadas anteriormente foram atendidas.

Endereço: Rua Prof. Rodolpho Paulo Rocco Nº255, 7º andar, Ala E
 Bairro: Cidade Universitária CEP: 21.941-913
 UF: RJ Município: RIO DE JANEIRO
 Telefone: (21)3938-2480 Fax: (21)3938-2481 E-mail: cep@hucff.ufrj.br

UFRJ - HOSPITAL
UNIVERSITÁRIO CLEMENTINO
FRAGA FILHO DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO
RIO DE JANEIRO / HUCFF-
UFRJ



Continuação do Parecer: 5.271.068

Considerações Finais a critério do CEP:

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BASICAS_DO_PROJETO_1857720.pdf	04/02/2022 17:31:07		Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	7_TCLE_versao2.pdf	04/02/2022 17:25:08	Tathiany Jéssica Ferrelra	Aceito
Cronograma	10_previsao_do_cronograma_de_execucao_assinado_versao2.pdf	04/02/2022 17:24:18	Tathiany Jéssica Ferrelra	Aceito
Folha de Rosto	folhaDeRosto.pdf	04/02/2022 17:20:31	Tathiany Jéssica Ferrelra	Aceito
Outros	adequacoes_de_pendencias.pdf	04/02/2022 17:19:36	Tathiany Jéssica Ferrelra	Aceito
Cronograma	10_previsao_do_cronograma_de_execucao_sem_assinatura_versao2.docx	04/02/2022 17:18:20	Tathiany Jéssica Ferrelra	Aceito
Orçamento	9_orcamento_sem_assinatura.docx	12/11/2021 21:22:26	Tathiany Jéssica Ferrelra	Aceito
Orçamento	9_orcamento_assinado.pdf	12/11/2021 21:21:08	Tathiany Jéssica Ferrelra	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	8_Projeto_detalhado.pdf	12/11/2021 21:20:43	Tathiany Jéssica Ferrelra	Aceito
Outros	6_Questionario.pdf	12/11/2021 21:18:43	Tathiany Jéssica Ferrelra	Aceito
Outros	5_Curriculos_dos_pesquisadores.pdf	12/11/2021 21:18:02	Tathiany Jéssica Ferrelra	Aceito
Declaração de Pesquisadores	4_Termo_de_compromisso_sem_assinatura.doc	12/11/2021 21:17:22	Tathiany Jéssica Ferrelra	Aceito
Declaração de Pesquisadores	4_Termo_de_compromisso_assinado.pdf	12/11/2021 21:16:45	Tathiany Jéssica Ferrelra	Aceito
Outros	3_Termo_de_infraestrutura_sem_assinatura.docx	12/11/2021 21:16:09	Tathiany Jéssica Ferrelra	Aceito
Declaração de Instituição e Infraestrutura	3_Termo_de_infraestrutura_assinado.pdf	12/11/2021 21:15:38	Tathiany Jéssica Ferrelra	Aceito
Outros	2_CartadeConcordanciaDoDiretor_sem_assinatura.docx	12/11/2021 21:15:18	Tathiany Jéssica Ferrelra	Aceito

Endereço: Rua Prof. Rodolpho Paulo Rocco Nº255, 7º andar, Ala E
Bairro: Cidade Universitária CEP: 21.941-913
UF: RJ Município: RIO DE JANEIRO
Telefone: (21)3938-2480 Fax: (21)3938-2481 E-mail: cep@hucff.ufrj.br

UFRJ - HOSPITAL
UNIVERSITÁRIO CLEMENTINO
FRAGA FILHO DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO
RIO DE JANEIRO / HUCFF-
UFRJ



Continuação do Parecer: 5.271.060

Declaração de concordância	2_CartadeConcordanciaDoDiretor_assinada.pdf	12/11/2021 21:13:13	Tathiany Jéssica Ferreira	Acelto
Outros	1_Carta_de_apresentacao_sem_assinatura.docx	12/11/2021 21:12:57	Tathiany Jéssica Ferreira	Acelto
Outros	1_Carta_de_apresentacao_assinado.pdf	12/11/2021 21:12:09	Tathiany Jéssica Ferreira	Acelto

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

RIO DE JANEIRO, 03 de Março de 2022

Assinado por:
Marta Guimarães Cavalcanti
(Coordenador(a))


Endereço: Rua Prof. Rodolpho Paulo Rocco Nº255, 7º andar, Ala E
Bairro: Cidade Universitária CEP: 21.941-913
UF: RJ Município: RIO DE JANEIRO
Telefone: (21)3938-2480 Fax: (21)3938-2481 E-mail: cnp@hucff.ufrj.br

ANEXO 2. PANFLETO DE DIVULGAÇÃO DA PESQUISA



PARTICIPE DO ESTUDO: AVALIAÇÃO DA COMPOSIÇÃO CORPORAL EM INDIVÍDUOS COM OBESIDADE



Avaliação com os métodos mais utilizados,
incluindo o DXA 
Método padrão ouro para avaliação corporal



antropometria



bioimpedância



ultrassom


DXA 

Gratuito

Critérios: Ter entre 18 e 65 anos
Até 150 kg

**Avaliação de risco cardiovascular, saúde óssea e
composição corporal completa**

**Localização: UFRJ Ilha do Fundão -
Centro de Ciências em Saúde (CCS)**

Curtiu? Mande uma mensagem para
 (21) 978756902 ou acesse o QRcode ao
lado e participe!



ANEXO 3. TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Você está sendo convidado a participar como voluntário (a) da pesquisa intitulada “**Avaliação antropométrica da população adulta brasileira: análise dos componentes corporais por diversos métodos existentes**”.

Meu nome é Anna Paola Trindade Rocha Pierucci, sou nutricionista, professora adjunta do Instituto de Nutrição Josué de Castro da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e pesquisadora responsável por este estudo. Este documento contém informações importantes sobre a pesquisa. Peço para que leia com bastante atenção, converse com o pesquisador responsável, com pessoas de sua confiança e pense o tempo que for necessário para tomar a decisão de participar ou não desta pesquisa. Se aceitar fazer parte do estudo, assine todas as folhas no final do documento que está em duas vias (uma das vias é sua e a outra deverá ficar comigo).

Em caso de dúvida, você poderá consultar os pesquisadores responsáveis pelo projeto: Prof^ª. Dr^ª. Anna Paola Trindade Rocha Pierucci, no laboratório DAFEE localizado no Centro de Ciências da Saúde, Campus Fundão – UFRJ. Av. Carlos Chagas Filho, 373, Bloco J, Subsolo, 08 – Cidade Universitária, Rio de Janeiro - RJ, 21941-590 de forma presencial, por telefone (21) 2562 6697, ou e-mail: pierucci@nutricao.ufrj.br ou Ms. Tathiany Jéssica Ferreira por meio do telefone (21) 988316080 ou e-mail: tathijessica@outlook.com. Havendo necessidade, será possível, ainda, entrar em contato com o Comitê de Ética do Hospital Universitário Clementino Fraga Filho da UFRJ, Rua Prof. Rodolpho Paulo Rocco, 255, 7º. Andar, Ala E, Cidade Universitária, Rio de Janeiro, RJ, ou pelo telefone 3938-2480, de segunda a sexta-feira, das 8 às 16 horas, ou através do e-mail: cep@hucff.ufrj.br. O Comitê de Ética em Pesquisa é um órgão que controla as questões éticas das pesquisas na instituição (UFRJ) e tem como uma das principais funções proteger os participantes da pesquisa de qualquer problema.

INFORMAÇÕES IMPORTANTES SOBRE A PESQUISA

Antropometria é um ramo da antropologia que estuda as medidas e dimensões das diversas partes do corpo humano. Existem métodos considerados padrão ouro para a avaliação da composição corporal (CC) como a absorptometria de raio-X de dupla

energia (DXA), ressonância magnética e tomografia computadorizada. O uso do DXA aumentou ao longo da última década. O teste ocorre durante cinco minutos, com o participante deitado em uma plataforma de digitalização, enquanto o detector com uma fonte de raios-X passa por cima dele de forma retilínea. No entanto, são limitados a ambientes médicos e de pesquisa devido ao alto custo do equipamento, operação, manutenção e de sua natureza não portátil.

Em contraste, existem outros métodos menos dispendiosos e de fácil execução como Bioimpedância (BIA), ultrassom (US), medidas de dobras cutâneas (DC) e visão computacional associada à inteligência artificial (VC). Apesar desses métodos serem os mais utilizados na prática clínica e possuem grande relevância na análise de variáveis relacionadas a saúde do paciente, podem possuir alto grau de discordância com o método padrão ouro. Os dispositivos de BIA têm precisão limitada, em grande parte devido a várias suposições errôneas, como a hidratação constante dos tecidos magros. Já os resultados obtidos por US e DC podem variar devido ao nível de habilidades do avaliador.

Recentemente, o uso da inteligência artificial e visão computacional permite a criação de sistemas que conseguem avaliar a composição corporal por meio de sinais digitais obtidos por fotos. O interesse por essa tecnologia na avaliação da composição corporal vêm ganhando destaque como forma de reduzir o erro humano da medida e acelerar o tempo de análise, porém ainda depende da qualidade das fotos utilizadas.

Dessa forma, apesar da disponibilidade de diversos métodos capazes de mensurar a composição corporal, a validação desses métodos ainda é necessária, devido a erros humanos no processo de coleta ou a limitações dos métodos. Portanto, este trabalho busca avaliar a acurácia dos métodos de BIA, US, DC e VC disponíveis no mercado para avaliação da composição corporal da população.

PROCEDIMENTOS NECESSÁRIOS

Caso você decida participar da pesquisa, será realizado alguns procedimentos com tempo total de 30 minutos no dia da avaliação. Os procedimentos serão:

1. (10 minutos) **Avaliação antropométrica**: Realizar as medições de perímetros corporais, dobras cutâneas e diâmetros ósseos, utilizando fita métrica, plicômetro e paquímetro

2. (4 minutos) **Fotografias:** A captura de fotografias digitais em um ambiente reservado, estruturado, e individual no qual haverá uma câmera em um tripé e serão tiradas fotos com os seguintes padrões:
 - a. Imagem frontal, é importante que os braços direitos e esquerdos fiquem mais próximos de 45° em relação ao tronco e as pernas estejam espaçadas.
 - b. Imagem traseira, é importante que os braços direitos e esquerdos fiquem mais próximos de 45° em relação ao tronco e as pernas estejam espaçadas.
 - c. Imagem lado direito, é importante que o braço direito fique mais próximo de 90° em relação ao tronco e que o braço esquerdo e a perna esquerda estejam escondidos.
 - d. Imagem lado esquerdo, é importante que o braço esquerdo fique mais próximo de 90° em relação ao tronco e que o braço direito e a perna direita estejam escondidos.
 - e. Com relação a vestimenta para captura das fotos: homens vestidos com sunga ou short curto colado; mulheres de top e short curto colado.
3. (3 minutos) **Bioimpedância:** Realizar exame de bioimpedância em equipamentos diferentes, seguindo o mesmo protocolo de vestimenta para realização do exame de DXA.
4. (3 minutos) **Ultrassonografia:** Realizar exame de ultrassonografia nos locais das dobras cutâneas para mensuração da espessura de gordura
5. (8 minutos) **DXA:** Realizar um exame DXA que leva 5 minutos e determina a composição corporal do corpo todo e dos segmentos. O participante não deve portar itens de metal no corpo (brinco, piercing, cordão, pulseira, anel e outros) e com relação a vestimenta, a única restrição é a presença de metal na vestimenta como zíper, botão, sutiã de metal etc. O exame será conduzido conforme os padrões clínicos e em ambiente reservado e individual.
6. (2 minutos) **Coleta de dados:** dados sociodemográficos (idade, sexo e cidade de residência), atividade física, regime alimentar (onívoro, ovolactovegetarianismo, lactovegetarianismo, ovovegetarianismo e vegetarianismo estrito), mulheres: ciclo menstrual.

DESCONFORTOS E RISCOS

Com relação a eventuais desconfortos, você poderá, eventualmente, se sentir moderadamente envergonhado (a) no momento da realização da pesquisa. Como forma de minimizar esse desconforto, informo que os procedimentos serão todos conduzidos por um profissional especializado em um espaço reservado e estruturado.

Os riscos que você está exposto são muito pequenos. Durante todo o período da pesquisa e na divulgação dos resultados, sua privacidade será respeitada, ou seja, seu nome ou qualquer outro dado ou elemento que possa, de alguma forma, identificar-lhe, será mantido em sigilo. Para garantir a confidencialidade e a anonimização dos dados, todas as informações serão codificadas e armazenadas em banco de dados criptografado. A exposição resultante do exame DXA, a partir de uma análise de corpo inteiro, é relativamente pequena ($\sim 0,3 \mu\text{Sv}$) e é menor do que a inevitável exposição diária à radiação ($\sim 2,0 \mu\text{Sv}/24 \text{ h}$) e muito inferior a outros exames, como raio-x ($60 \mu\text{Sv}$), tomográfica computadorizada da pélvis ($5,000 \mu\text{Sv}$) e mamografia ($130 \mu\text{Sv}$). A bioimpedância não gera uma corrente elétrica que interfira no metabolismo ou provoque sensação de choque, sendo imperceptível ao voluntário. O ultrassom também não gera riscos à saúde do voluntário. Não será realizado nenhum tipo de avaliação que comprometa a integridade física, biológica e psicológica dos participantes.

GARANTIA DE ESCLARECIMENTO, RECUSA E SIGILO

Você estará livre para se recusar a participar da pesquisa ou retirar o seu consentimento em qualquer momento e essa decisão não terá nenhuma penalização por parte dos pesquisadores. Caso você decida se recusar a participar da pesquisa ou retirar o seu consentimento não é necessário qualquer tipo de manifestação por escrito. Caso sinta vergonha ou desconfortável durante a avaliação, você pode parar o procedimento ou se recusar a responder qualquer pergunta que queira. Você também poderá tirar dúvidas sobre qualquer procedimento, quantas vezes precisar, com os pesquisadores ou com os Comitês de Ética em Pesquisa. As informações coletadas nos procedimentos mencionados anteriormente serão armazenadas de forma anônima, com codificação dos dados, em infraestrutura interna para armazenamento das informações com sigilo e segurança. Os seus dados poderão ser utilizados em artigos publicados em revistas de alto impacto e congressos também de forma anônima e em conjunto com dados anônimos de outros participantes. Os resultados dessa pesquisa não poderão fazer parte de prontuário médico. As fotografias digitais, após processamento, serão mantidas em arquivo digital, sob guarda e responsabilidade do pesquisador responsável, por um

período de 5 anos após o término da pesquisa e não serão divulgadas em nenhum momento.

POSSÍVEIS BENEFÍCIOS AO PARTICIPAR DA PESQUISA

Caso decida participar dessa pesquisa, você ganhará a análise corporal feita pelo método de perímetros e dobras cutâneas, BIA e DXA.

RESSARCIMENTO E INDENIZAÇÃO

Você não terá nenhum gasto para participar da pesquisa e será ressarcido, quando necessário, (você e acompanhantes) das despesas que a pesquisa possa oferecer, na forma de bilhetes ou o dinheiro da (s) passagem (ns) do transporte público para o deslocamento para as atividades da pesquisa. A pesquisa será imediatamente interrompida se oferecer algum risco ou dano à sua saúde, e caso ocorra algum prejuízo causado pela participação na pesquisa, você receberá a assistência, acompanhamento e indenização, sob responsabilidade dos pesquisadores e do LabDAFEE da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

ACOMPANHAMENTO E ASSISTÊNCIA

A sua colaboração com essa pesquisa inicia e encerra no mesmo dia em que os procedimentos forem realizados, mesmo que haja interrupção da pesquisa. Você terá assistência integral e imediata, de forma gratuita, pelo tempo que for necessário em casos de complicações e danos decorrentes da pesquisa.

CONSENTIMENTO EM PARTICIPAR DA PESQUISA COMO VOLUNTÁRIO

Declaro que concordo em participar da pesquisa:

(Assinatura do participante)

Rio de Janeiro, ____ de _____ de 20__.

(Assinatura do pesquisador)

ANEXO 4. QUESTIONÁRIO PARA COLETA DE DADOS E CADASTRO

Dados gerais

Identificação na pesquisa:

Cidade em que reside:

Estado em que reside:

Atividade física

Faz atividade física: () Sim () Não

Se sim, qual modalidade:

Frequência (dias/semana):

Duração dos treinos (horas/semana):

Diagnóstico de doença

Possui diagnóstico para alguma doença: () Sim () Não

Se sim, qual (is):

Alimentação

Qual seu padrão alimentar:

- () Onívoro
- () Ovolactovegetariano
- () Ovovegetariano
- () Lactovegetariano
- () Pescovegetariano
- () Vegetariano Estrito (Vegano)

Em caso de algum padrão alimentar diferente de onívoro, Há quanto tempo tem esse padrão (anos):

Qual foi sua última refeição:

- () Café da manhã
- () Colação (lanche)
- () Almoço
- () Lance da tarde
- () Jantar (dia anterior)
- () Ceia (dia anterior)

Qual foi o horário dessa refeição:

O que comeu:

Ciclo menstrual

Sexo de nascimento:

Feminino

Masculino

Em caso de sexo feminino:

Ciclo é regular

Sim

Não

As vezes

Menopausa

Outro: _____

Data do início da última menstruação:

Duração do período menstrual:

Usa anticoncepcional:

Sim

Não

Já teve alguma gestação acima de 3 meses? Se sim, quantas: