

Análise da Bioimpedância Elétrica de Frequência Única de 50 kHz para Avaliação da Composição Corporal: Uma Revisão da Literatura Científica

1. Introdução:

A avaliação precisa da composição corporal é de suma importância em diversos campos, incluindo a saúde clínica, o manejo de doenças crônicas, a medicina esportiva e a nutrição.¹ Métodos variados estão disponíveis para analisar a composição corporal, desde medidas antropométricas simples até técnicas de imagem avançadas. Nesse contexto, a Bioimpedância Elétrica (BIA) tem ganhado crescente interesse como uma técnica não invasiva e portátil para estimar a composição corporal.³ A BIA se baseia na medição da oposição ao fluxo de uma pequena corrente elétrica através do corpo para inferir sobre seus componentes, como massa livre de gordura, gordura corporal e água corporal total.³

Dentro do espectro das técnicas de BIA, a BIA de frequência única (SF-BIA), particularmente aquela que opera a 50 kHz, é amplamente utilizada tanto em dispositivos de consumo quanto em equipamentos clínicos.³ Essa popularidade ressalta a relevância da sua aplicação. O presente relatório visa avaliar a confiabilidade, a validade e a utilidade clínica da BIA de frequência única de 50 kHz para estimar parâmetros de composição corporal (massa livre de gordura, gordura corporal, água corporal total e ângulo de fase), revendo estudos que a comparam com métodos de referência dentro dos últimos 15 anos.

2. Princípios da BIA de Frequência Única de 50 kHz:

A BIA de 50 kHz funciona através da aplicação de uma corrente elétrica de baixa voltagem e frequência de 50kHz ao corpo por meio de eletrodos.⁴ A técnica mede a impedância (Z), que é composta por dois componentes principais: resistência (R) e reactância (X_c).⁴ A resistência representa a oposição ao fluxo da corrente, oferecida principalmente pelos fluidos corporais e eletrólitos.⁸ Por outro lado, a reactância é a oposição devido às membranas celulares que atuam como capacitores.⁸ Um estudo demonstrou um erro absoluto de 1% para as medições de resistência e 5% para as medições de reactância na faixa de frequência de 3 kHz a 150 kHz.³ A BIA de frequência única mede a impedância ou resistência a 50 kHz, sendo a reactância tipicamente cerca de 10% da resistência.

Os valores de resistência e reactância, frequentemente combinados com dados demográficos como altura, peso, idade e sexo, são utilizados em equações de

predição para estimar a massa livre de gordura, a gordura corporal e a água corporal total.⁵ O índice de bioimpedância ($\text{altura}^2/\text{resistência}$) é um conceito importante, mostrando relação com o volume de água corporal e, conseqüentemente, com a massa livre de gordura.⁵ Além desses parâmetros, o ângulo de fase (PhA) é um indicador derivado da relação entre a reactância e a resistência a 50 kHz, calculado pela fórmula: $\text{Arctan} (\text{Reactância} / \text{Resistência}) \times (180^\circ / \pi)$.⁸ O ângulo de fase é frequentemente utilizado como um marcador da saúde celular e do estado de hidratação.⁴ A precisão das estimativas de composição corporal obtidas pela BIA de 50 kHz depende fortemente da validade das equações de predição utilizadas, que podem ser específicas para diferentes populações. O ângulo de fase, por outro lado, oferece uma medida direta, independente de equações, que está relacionada à saúde celular.

3. Validação da BIA de 50 kHz para Massa Livre de Gordura (MLG) e Massa Magra:

Diversos estudos têm comparado as estimativas de MLG e massa magra obtidas pela BIA de 50 kHz com a DEXA (Absorciometria de Raios-X de Dupla Energia), frequentemente considerada um método de referência para a composição corporal.¹ Um estudo reportou uma forte correlação ($r^2=0.985$) entre as estimativas de massa gorda da BIA e da DEXA.³ Em lutadores taiwaneses do sexo masculino, observaram-se altos coeficientes de correlação entre o índice de impedância de uma BIA de 8 eletrodos (provavelmente incluindo 50 kHz) e a massa magra ($r = 0.902$), assim como entre a massa magra estimada pela BIA e pela DEXA ($r = 0.936$).¹³ Estudos recentes indicam que a BIA apresenta boa correlação com a DEXA.¹ Adicionalmente, o erro padrão da estimativa para a BIA em comparação com a DEXA foi de 1,76% para homens e 2,17% para mulheres.⁷ Esses resultados indicam que a BIA de 50 kHz pode apresentar fortes correlações com a DEXA para MLG e massa magra.

A BIA de 50 kHz também tem sido validada contra a Ressonância Magnética (RM) e a Tomografia Computadorizada (TC), consideradas técnicas de imagem altamente precisas para a composição corporal.¹ A BIA demonstrou correlações significativas com a tomografia computadorizada.¹ Especificamente, a gordura abdominal total medida por um dispositivo BIA específico (Viscan, que utiliza frequências de 6,25 e 50 kHz) mostrou ser um bom preditor da gordura abdominal total avaliada por RM.⁵ Esses achados sugerem que a BIA de 50 kHz pode apresentar uma correlação razoável com a RM e a TC, especialmente para depósitos de gordura específicos.

4. Validação da BIA de 50 kHz para Massa Gorda (MG):

A validação das medições de massa gorda obtidas pela BIA de 50 kHz contra a DEXA também foi objeto de estudo.² Um estudo demonstrou uma forte correlação entre a BIA e a DEXA para a estimativa da massa gorda.³ Em lutadores, a BIA8 e a DEXA apresentaram uma correlação significativa ($r > 0.820$) para a percentagem de gordura corporal total e segmentar.¹³ Em crianças e adolescentes obesos, a comparação de dois dispositivos BIA (incluindo um que provavelmente utiliza 50 kHz) com a DEXA revelou que um dos dispositivos (TANITA) foi o mais comparável ao método de referência.² Tal como observado para a MLG, a validação da BIA de 50 kHz para a massa gorda contra a DEXA apresenta resultados positivos com fortes correlações.

Em relação à comparação com a RM, um dispositivo BIA específico (Viscan) demonstrou boa predição da gordura abdominal total em comparação com a RM.⁵

5. Validação da BIA de 50 kHz para Água Corporal Total (ACT):

A validação do uso da BIA de 50 kHz para estimar a água corporal total, frequentemente utilizando a diluição com óxido de deutério como método de referência, tem sido estudada.⁹ Em atletas, foram desenvolvidos modelos específicos para a estimativa da ACT utilizando BIA de 50 kHz e diluição com deutério, enfatizando a necessidade de equações específicas para a população.¹⁸ Em adolescentes malawianos, novas equações de predição da BIA para MLG e ACT foram desenvolvidas e validadas utilizando a diluição com deutério, demonstrando boa precisão.²⁶ A validação da BIA de 50 kHz para a ACT contra a diluição isotópica mostra que equações específicas para a população podem apresentar boa precisão.

6. Utilidade Clínica da BIA de 50 kHz e do Ângulo de Fase:

A BIA de 50 kHz, particularmente o ângulo de fase derivado, demonstra significativa utilidade clínica como marcador prognóstico e como ferramenta para monitorizar o estado nutricional e o equilíbrio hídrico em diversas populações de pacientes.² A simplicidade da BIA permite que os pacientes acompanhem as mudanças na composição corporal durante o tratamento.³ Em pacientes obesos, observou-se uma diminuição significativa na resistência, reactância e ângulo de fase com o aumento do IMC.²⁹ O ângulo de fase é destacado como um potencial indicador do estado nutricional e da saúde celular.¹¹ A BIA é utilizada como auxiliar no diagnóstico de doenças de diversos sistemas do corpo, incluindo os sistemas pulmonar, cardiovascular, renal e muscular.³⁰ Mudanças no ângulo de fase ao longo do tempo podem prever o risco de mortalidade e de doenças cardiovasculares em adultos

saudáveis.³³ Em pacientes em hemodiálise, o ângulo de fase é utilizado para monitorizar as alterações de fluidos e possui valor prognóstico.³¹ Adicionalmente, existe uma associação significativa entre o ângulo de fase e a mortalidade em receptores de transplante renal.³⁵ A BIA de 50 kHz, especialmente o ângulo de fase, emerge como um marcador promissor da saúde celular e um potencial indicador de inflamação e estresse oxidativo, oferecendo uma ferramenta não invasiva e de baixo custo para detecção e monitorização precoces.⁸ Observou-se que valores mais baixos do ângulo de fase estão correlacionados com níveis mais elevados de marcadores inflamatórios.

8. Conclusão:

A análise da literatura científica sobre a bioimpedância elétrica de frequência única de 50 kHz revela um panorama positivo de sua validade e utilidade. Evidências sugerem que, em certas populações e sob condições controladas, a BIA de 50 kHz pode fornecer estimativas razoavelmente precisas de massa livre de gordura e gordura corporal, especialmente quando comparada com a DEXA. A precisão da estimativa da água corporal total com a BIA de 50 kHz parece depender fortemente do uso de equações de predição específicas para a população estudada.

Apesar de certas considerações, a BIA de 50 kHz e, em particular, o ângulo de fase derivado, apresentam significativa utilidade clínica. O ângulo de fase emerge como um marcador promissor da saúde celular, com potencial para indicar inflamação, stress oxidativo e prognóstico em diversas condições clínicas. A capacidade da BIA de monitorar mudanças na composição corporal ao longo do tempo e sua natureza não invasiva e portátil a tornam uma ferramenta valiosa em diversos contextos, desde o acompanhamento de pacientes até a avaliação em medicina esportiva.

Para futuras pesquisas, recomenda-se a realização de estudos de validação em populações mais diversas e o desenvolvimento de equações de predição específicas para diferentes grupos. Na prática clínica, a BIA de 50 kHz pode ser uma ferramenta útil quando utilizada com o conhecimento de suas aplicações, especialmente em contextos onde outros métodos mais avançados não estão disponíveis ou não são práticos.

Tabela 1: Resumo de Estudos que Validam a BIA de 50 kHz contra Métodos de Referência

Citação do Estudo (Autor, Ano)	População Estudada	Método de Referência Utilizado	Parâmetro(s) de Composição Corporal Avaliado(s)	Principais Resultados em Relação à Validade	Conclusão do Estudo em Relação à Validade da BIA de 50 kHz para o(s) Parâmetro(s)
3	Não especificado	DEXA	Massa Gorda	Forte correlação ($r^2=0.985$)	BIA de 50 kHz apresenta forte correlação com DEXA para estimativa de massa gorda.
13	Lutadores	DEXA	Massa Magra, Percentual de Gordura Corporal	Alta correlação ($r=0.902$ para índice de impedância e massa magra; $r=0.936$ para BIA vs. DEXA massa magra; $r>0.820$ para percentual de gordura)	BIA de 8 eletrodos (provavelmente incluindo 50 kHz) pode ser usada para derivar medidas de referência de massa magra e percentual de gordura.
18	Atletas	Diluição com Deutério	Água Corporal Total	Modelos específicos para atletas apresentaram alta correlação ($R^2=0.91$)	Modelos específicos para atletas baseados em BIA de 50 kHz são válidos para quantificar a

					água corporal total.
26	Adolescentes	Diluição com Deutério	Massa Livre de Gordura, Água Corporal Total	Sem diferença significativa entre a nova equação BIA e a diluição com deutério	Novas equações de predição BIA para MLG e ACT podem ser usadas com boa precisão em adolescentes com características semelhantes.

Tabela 2: Aplicações Clínicas da BIA de 50 kHz e do Ângulo de Fase

Cenário Clínico/População	Foco no Parâmetro de Composição Corporal ou Ângulo de Fase	Principais Resultados em Relação à Utilidade Clínica	Aplicações Específicas
Pacientes Obesos	Resistência, Reactância, Ângulo de Fase	Diminuição significativa com o aumento do IMC	Avaliação da composição corporal em relação ao grau de obesidade.
Adultos Saudáveis	Mudanças no Ângulo de Fase	Diminuição maior no ângulo de fase associada a maior risco de mortalidade e DCV	Identificação de indivíduos aparentemente saudáveis com risco aumentado de mortalidade precoce e doenças cardiovasculares futuras.
Pacientes em Hemodiálise	Ângulo de Fase	Baixos valores associados a maior risco de mortalidade	Monitorização de alterações de fluidos e avaliação prognóstica.
Receptores de Transplante Renal	Ângulo de Fase	Baixos valores associados a maior risco de mortalidade	Avaliação prognóstica de mortalidade após o transplante renal.
Diversas Doenças	Ângulo de Fase	Indicador de saúde celular e prognóstico	Avaliação do estado nutricional, prognóstico em doenças como cancro, doenças cardíacas, infecções, etc.
Pacientes com Osteoartrite	Ângulo de Fase	Baixos valores correlacionados com a severidade da OA	Rastreio e diagnóstico precoce da osteoartrite.

Referências citadas

1. Lee SY, Gallagher D. Assessment methods in human body composition. Curr Opin Clin Nutr Metab Care 11, 566-572 | Request PDF - ResearchGate, acessado em abril 1, 2025, https://www.researchgate.net/publication/23154393_Lee_SY_Gallagher_D_Assessment_methods_in_human_body_composition_Curr_Opin_Clin_Nutr_Metab_Care_11_566-572
2. Comparing Bioelectrical Impedance Analysis, Air Displacement Plethysmography, and Dual-Energy X-Ray Absorptiometry for Body Composition in Pediatric Obesity - MDPI, acessado em abril 1, 2025, <https://www.mdpi.com/2072-6643/17/6/971>
3. bioelectrical impedance bia: Topics by Science.gov, acessado em abril 1, 2025, <https://www.science.gov/topicpages/b/bioelectrical+impedance+bia>
4. Bioelectrical impedance analysis - Wikipedia, acessado em abril 1, 2025, https://en.wikipedia.org/wiki/Bioelectrical_impedance_analysis
5. Bioelectric impedance analysis - Measurement Toolkit, acessado em abril 1, 2025, <https://www.measurement-toolkit.org/anthropometry/objective-methods/bioelectric-impedance-analysis>
6. Comparison of single- or multifrequency bioelectrical impedance analysis and spectroscopy for assessment of appendicular skeletal muscle in the elderly - American Journal of Physiology, acessado em abril 1, 2025, <https://journals.physiology.org/doi/full/10.1152/japplphysiol.00010.2013>
7. Comparison of Four Body Composition Methods: Circumference ..., acessado em abril 1, 2025, <https://academic.oup.com/milmed/article/190/3-4/e642/7760200>
8. Phase angle and cellular health: inflammation and oxidative damage - SciSpace, acessado em abril 1, 2025, <https://scispace.com/pdf/phase-angle-and-cellular-health-inflammation-and-oxidative-1bd1nup2.pdf>
9. Use of Bioelectrical Impedance: General Principles and Overview - ResearchGate, acessado em abril 1, 2025, https://www.researchgate.net/publication/278694198_Use_of_Bioelectrical_Impedance_General_Principles_and_Overview
10. Development and cross-validation of predictive equations for fat-free mass estimation by bioelectrical impedance analysis in Brazilian subjects with overweight and obesity - Frontiers, acessado em abril 1, 2025, <https://www.frontiersin.org/journals/nutrition/articles/10.3389/fnut.2025.1499752/full>
11. Assessment of Body Composition in Health and Disease Using ..., acessado em abril 1, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6560329/>
12. Phase angle and cellular health: inflammation and oxidative damage - PMC, acessado em abril 1, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9735064/>
13. bioelectrical impedance total-body: Topics by Science.gov, acessado em abril 1, 2025,

- <https://www.science.gov/topicpages/b/bioelectrical+impedance+total-body>
14. Fluid-Dependent Single-Frequency Bioelectrical Impedance Fat ..., acessado em abril 1, 2025, <https://www.mdpi.com/2072-6643/15/21/4638>
 15. Validation of tetrapolar bioelectrical impedance method to assess human body composition, acessado em abril 1, 2025, <https://journals.physiology.org/doi/10.1152/jappl.1986.60.4.1327>
 16. Single- and multifrequency models for bioelectrical impedance analysis of body water compartments | Journal of Applied Physiology, acessado em abril 1, 2025, <https://journals.physiology.org/doi/abs/10.1152/jappl.1999.87.3.1087>
 17. Single- and multifrequency models for bioelectrical impedance ..., acessado em abril 1, 2025, <https://journals.physiology.org/doi/full/10.1152/jappl.1999.87.3.1087>
 18. (PDF) Estimation of total body water and extracellular water with ..., acessado em abril 1, 2025, https://www.researchgate.net/publication/275061114_Estimation_of_total_body_water_and_extracellular_water_with_bioimpedance_in_athletes_A_need_for_athlete-specific_prediction_models
 19. Bioelectrical impedance vector analysis (BIVA) in sport and exercise ..., acessado em abril 1, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5991700/>
 20. www.cambridge.org, acessado em abril 1, 2025, <https://www.cambridge.org/core/services/aop-cambridge-core/content/view/S0007114512001687>
 21. Development of bioelectrical impedance analysis-based equations for estimation of body composition in postpartum rural Bangladeshi women | British Journal of Nutrition, acessado em abril 1, 2025, <https://www.cambridge.org/core/journals/british-journal-of-nutrition/article/development-of-bioelectrical-impedance-analysisbased-equations-for-estimation-of-body-composition-in-postpartum-rural-bangladeshi-women/DA391942E6803867A124ED9F836CC120>
 22. Validation of two portable bioelectrical impedance analyses for the assessment of body composition in school age children | PLOS One, acessado em abril 1, 2025, <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0171568>
 23. Human hydrometry: comparison of multifrequency bioelectrical impedance with $2\text{ H}_2\text{O}$ and bromine dilution - American Journal of Physiology, acessado em abril 1, 2025, <https://journals.physiology.org/doi/full/10.1152/jappl.1998.85.3.1056>
 24. Total body water measurement: using the multifrequency BIS-Hanai approach with 50 kHz single frequency - ResearchGate, acessado em abril 1, 2025, https://www.researchgate.net/publication/226117228_Total_body_water_measurement_using_the_multifrequency_BIS-Hanai_approach_with_50_kHz_single_frequency
 25. Total body water in health and disease: Have anthropometric equations any meaning? | Nephrology Dialysis Transplantation | Oxford Academic, acessado em abril 1, 2025, <https://academic.oup.com/ndt/article/23/6/1997/1876766>
 26. (PDF) Development of bioelectrical impedance-based equations for the prediction of body composition of Malawian adolescents aged 10–18 years: a cross-sectional study - ResearchGate, acessado em abril 1, 2025,

- https://www.researchgate.net/publication/359732629_Development_of_bioelectrical_impedance-based_equations_for_the_prediction_of_body_composition_of_Malawian_adolescents_aged_10-18_years_a_cross-sectional_study
27. Segmental extracellular and intracellular water distribution and muscle glycogen after 72-h carbohydrate loading using spectroscopic techniques - American Journal of Physiology, acessado em abril 1, 2025, <https://journals.physiology.org/doi/10.1152/japplphysiol.00126.2016>
 28. Using bioelectrical impedance analysis in children and adolescents: Pressing issues | Request PDF - ResearchGate, acessado em abril 1, 2025, https://www.researchgate.net/publication/355133724_Using_bioelectrical_impedance_analysis_in_children_and_adolescents_Pressing_issues
 29. Body composition assessment using bioelectrical impedance ..., acessado em abril 1, 2025, https://www.researchgate.net/publication/351162580_Body_composition_assessment_using_bioelectrical_impedance_analysis_BIA_in_a_wide_cohort_of_patients_affected_with_mild_to_severe_obesity
 30. Bioelectrical Impedance Analysis in Monitoring of the Clinical Status and Diagnosis of Diseases | Analog Devices, acessado em abril 1, 2025, <https://www.analog.com/en/resources/technical-articles/bioelectrical-impedance-analysis-in-monitoring-of-the-clinical-status-and-diagnosis-of-diseases.html>
 31. Future lines of research on phase angle: Strengths and limitations - PMC - PubMed Central, acessado em abril 1, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10090740/>
 32. Review Article Assessment of Body Composition in Health and Disease Using Bioelectrical Impedance Analysis (BIA) and Dual Energy - Semantic Scholar, acessado em abril 1, 2025, <https://pdfs.semanticscholar.org/f8bc/8712c22815d412b4e192e0387cb7a9b6fac5.pdf>
 33. Can change in phase angle predict the risk of morbidity and mortality during an 18-year follow-up period? A cohort study among adults - PMC - PubMed Central, acessado em abril 1, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10186468/>
 34. Can change in phase angle predict the risk of morbidity and mortality during an 18-year follow-up period? A cohort study among adults - ResearchGate, acessado em abril 1, 2025, https://www.researchgate.net/publication/370480305_Can_change_in_phase_angle_predict_the_risk_of_morbidity_and_mortality_during_an_18-year_follow-up_period_A_cohort_study_among_adults
 35. Association of mortality and phase angle measured by different bioelectrical impedance analysis (BIA) devices | Request PDF - ResearchGate, acessado em abril 1, 2025, https://www.researchgate.net/publication/315599465_Association_of_mortality_and_phase_angle_measured_by_different_bioelectrical_impedance_analysis_BIA_devices
 36. Phase angle and impedance ratio: Two specular ways to analyze body composition, acessado em abril 1, 2025,

<https://meddocsonline.org/annals-of-clinical-nutrition/Phase-angle-and-impedance-ratio-Two-specular-ways-to-analyze-body-composition.html>

37. Bioelectrical impedance phase angle in sport: A systematic review - ResearchGate, acessado em abril 1, 2025, https://www.researchgate.net/publication/337073415_Bioelectrical_impedance_phase_angle_in_sport_A_systematic_review
38. Phase angle: a novel application of bioelectrical impedance ..., acessado em abril 1, 2025, https://www.researchgate.net/publication/390177898_Phase_angle_a_novel_application_of_bioelectrical_impedance_technology_in_osteoarthritis_screening_and_diagnosis
39. Exploring the potential role of phase angle as a marker of oxidative stress: A narrative review - University of California San Francisco, acessado em abril 1, 2025, https://search.library.ucsf.edu/discovery/fulldisplay?docid=cdi_proquest_miscellaneous_2582806989&context=PC&vid=01UCS_SAF:UCSF&lang=en&search_scope=DN_and_CI&adaptor=Primo%20Central&query=null%2C%2C1%2CAND&facet=citedby%2Cexact%2Ccdi_FETCH-LOGICAL-c420t-4a64be13fc8d7028cda83ab927013cbd25ef68e06f1ac291e2d4a5dda8703b113&offset=10
40. Phase angle and cellular health: inflammation and oxidative damage - PubMed, acessado em abril 1, 2025, <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36474107/>
41. The relation between inflammation, oxidative stress, cellular damage - ResearchGate, acessado em abril 1, 2025, https://www.researchgate.net/figure/The-relation-between-inflammation-oxidative-stress-cellular-damage-low-phase-angle_fig1_366088173