



Audiology - Communication Research

ISSN: 2317-6431

Academia Brasileira de Audiologia

Dias, Valdani; Bolzan, Geovana de Paula  
Instrumentos para captação e análise acústica dos sinais de ausculta cervical  
na prática clínica fonoaudiológica: uma revisão integrativa de literatura  
Audiology - Communication Research, vol. 26, e2498, 2021  
Academia Brasileira de Audiologia

DOI: <https://doi.org/10.1590/2317-6431-2021-2498>

Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=391566650053>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais informações do artigo
- Site da revista em [redalyc.org](http://redalyc.org)

UABM [redalyc.org](http://redalyc.org)

Sistema de Informação Científica Redalyc  
Rede de Revistas Científicas da América Latina e do Caribe, Espanha e Portugal  
Sem fins lucrativos acadêmica projeto, desenvolvido no âmbito da iniciativa  
acesso aberto

# Instrumentos para captação e análise acústica dos sinais de ausculta cervical na prática clínica fonoaudiológica: uma revisão integrativa de literatura

## Instruments for acoustic capture and analysis of cervical auscultation signals in speech-language pathology clinic practice: an integrative literature review

Valdani Dias<sup>1</sup> , Geovana de Paula Bolzan<sup>2</sup> 

### RESUMO

**Objetivo:** Descrever os instrumentos utilizados para captação e análise acústica dos sinais de ausculta cervical e identificar aqueles com maior potencial para aplicação na clínica fonoaudiológica. **Estratégia de pesquisa:** Trata-se de uma revisão integrativa de literatura. As buscas foram realizadas nas bases de dados MEDLINE/PubMed, Scopus e Web of Science, a partir da combinação de termos de relevância e operadores booleanos, durante o mês de novembro de 2020. **Crterios de seleço:** Artigos científicos publicados nos idiomas português, espanhol ou inglês, nos últimos cinco anos (2016-2020) e que apresentassem estudo da ausculta cervical. **Resultados:** Foram encontrados 98 artigos. Após a aplicação dos critérios de seleção, 26 artigos foram selecionados para esta revisão. Para captação dos sinais de ausculta cervical, o microfone foi o instrumento mais utilizado, seguido pela técnica de ausculta cervical de alta resolução, que combina sinais acústicos e vibratórios registrados por um microfone e um acelerômetro, respectivamente. **Softwares** e/ou algoritmos foram selecionados para análise acústica dos sinais, de acordo com o objetivo de cada estudo. **Conclusão:** O método de ausculta cervical de alta resolução e a análise acústica por meio de algoritmos de aprendizado de máquina apresentaram grande potencial para utilização na prática clínica fonoaudiológica para avaliação e monitoramento da deglutição.

**Palavras-chave:** Deglutição; Auscultação; Procedimentos clínicos; Acústica; Software; Revisão

### ABSTRACT

**Purpose:** Describe the instruments used to capture and analyze the acoustic signals obtained from cervical auscultation, and identify those with the greatest potential for application in the speech pathology clinic. **Research strategy:** This is an integrative literature review. Searches were performed in the MEDLINE/PubMed, Scopus and Web of Science databases in November 2020, using relevant keywords combined with Boolean operators. **Selection criteria:** Scientific articles published in Portuguese, Spanish or English in the last five years (2016-2020) and that presented a study of cervical auscultation. **Results:** Ninety-eight articles were found. After the application of selection criteria, 26 articles were selected for this review. Microphones were the most common instruments used to perform cervical auscultation, followed by high-resolution cervical auscultation techniques, which combine acoustic and vibrational signals recorded by a microphone and an accelerometer, respectively. Acoustic analysis was performed using different software packages and/or algorithms depending on the goals of each study. **Conclusion:** The combination of high-resolution cervical auscultation and machine learning for acoustic analysis has great potential for utilization in the clinical assessment and monitoring of swallowing in speech pathology.

**Keywords:** Deglutition; Auscultation; Critical pathways; Acoustics; Software; Review

Trabalho realizado no Curso de Fonoaudiologia da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM – Santa Maria (RS), Brasil.

<sup>1</sup>Curso de Fonoaudiologia, Universidade Federal de Santa Maria – UFSM – Santa Maria (RS), Brasil.

<sup>2</sup>Departamento de Fonoaudiologia, Universidade Federal de Santa Maria – UFSM – Santa Maria (RS), Brasil.

**Conflito de interesses:** Não.

**Contribuição dos autores:** VD participou da idealização do estudo, coleta, análise e interpretação dos dados e redação do manuscrito; GPB participou da idealização e delineamento do estudo, análise e interpretação dos dados, orientação e redação do manuscrito.

**Financiamento:** Nada a declarar.

**Autor correspondente:** Valdani Dias. E-mail: valdanidias@gmail.com

**Recebido:** Março 31, 2021; **Aceito:** Maio 05, 2021

## INTRODUÇÃO

A deglutição normal é uma atividade neuromuscular complexa e dinâmica, que depende de um conjunto de comportamentos fisiológicos, controlados pelo sistema nervoso central e periférico. A integridade desses comportamentos resulta no transporte de substâncias sólidas, líquidas e saliva, com eficiência e segurança, da boca até o estômago<sup>(1-4)</sup>.

Os movimentos biomecânicos das diversas estruturas envolvidas antes, durante e após a passagem do bolo alimentar através da faringe produzem os sons da deglutição<sup>(5)</sup>.

Esses sons são descritos, geralmente, como dois ou três cliques distintos, sendo dois cliques audíveis, acompanhados de um sopro expiratório, que acontece imediatamente após a apneia da deglutição<sup>(6,7)</sup>. Já para outros autores, existem três componentes que compreendem os sons da deglutição normal: [1] um sinal fraco associado ao levantamento laríngeo e à passagem do bolo pela faringe; [2] um som forte associado à abertura do cricofaríngeo e [3] um sinal fraco associado à descida da laringe<sup>(8,9)</sup>.

Quando a coordenação dos movimentos é perdida, ocasionando alteração na dinâmica da deglutição em uma ou mais de suas fases, pode-se ter um quadro de disfagia<sup>(10)</sup>. A disfagia não é classificada como doença e sim como sintoma de alguma doença de base que apresenta alta morbidade e mortalidade, podendo levar a inúmeras complicações clínicas, como desidratação, desnutrição, pneumonia, entre outros problemas<sup>(4,11)</sup>.

Existem, atualmente, muitos recursos e métodos tecnológicos disponíveis para avaliação, monitoramento e *biofeedback* da deglutição<sup>(12)</sup>, que proporcionam auxílio consistente ao tratamento dos indivíduos<sup>(13)</sup>. Para um diagnóstico preciso, planejamento terapêutico eficaz e melhor definição do prognóstico, considera-se fundamental a avaliação clínica da deglutição associada a exames instrumentais complementares, quando necessários<sup>(14)</sup>.

A avaliação clínica da deglutição é constituída pela anamnese, avaliação do sistema sensorio-motor oral, avaliação da função mastigatória, da função deglutitória e da fonoarticulação<sup>(15)</sup>. Os exames instrumentais mais utilizados para complementar a avaliação clínica da deglutição são a videofluoroscopia da deglutição (VDF)<sup>(10)</sup> e a videoendoscopia da deglutição (FEES® - *fiberoptic endoscopic evaluation of swallowing*)<sup>(16)</sup>. Ainda, outros métodos disponíveis podem ser utilizados como recursos complementares para a avaliação da deglutição, tais como a eletromiografia de superfície (EMGS)<sup>(17)</sup>, a ultrassonografia da deglutição (USG)<sup>(18)</sup>, a oximetria de pulso e a ausculta cervical<sup>(14)</sup>.

Apesar de todas as vantagens de uma avaliação instrumental, os principais métodos utilizados atualmente podem ser de difícil acesso para alguns pacientes, por apresentarem alto custo operacional. Além disso, podem envolver exposição à radiação e procedimentos invasivos<sup>(2,19)</sup>.

Uma opção de baixo custo, fácil acessibilidade, reprodutível e não invasiva em destaque na prática clínica de fonoaudiólogos para avaliação e acompanhamento de pacientes disfágicos é a ausculta cervical. Esse método consiste em ouvir os sons da deglutição por meio de um instrumento de amplificação sonora posicionado no pescoço do paciente<sup>(20)</sup>. Entretanto, a precisão da ausculta é discutível, pois a interpretação dos sinais é subjetiva, tendo em vista o risco de sofrer interferências, tanto das características do instrumento utilizado, quanto da experiência do próprio avaliador<sup>(14,21)</sup>.

A capacidade de digitalizar e gravar o sinal oferece inúmeras possibilidades de processamento e análise das características

acústicas dos sons da deglutição. Por essa razão, a utilização de um dispositivo adicional à avaliação, embora não seja comum no cenário clínico, apresenta nítidas vantagens, em comparação à avaliação subjetiva baseada na ausculta cervical realizada com o estetoscópio convencional<sup>(22)</sup>.

Diferentes métodos de ausculta cervical digital, que envolvem instrumentos como acelerômetro<sup>(23)</sup>, estetoscópio eletrônico<sup>(24)</sup>, microfone<sup>(25)</sup>, sensor de emissão acústica<sup>(26)</sup>, sensor piezoelétrico<sup>(27)</sup> e sensor Doppler<sup>(28)</sup>, vêm sendo estudados nos últimos anos. Esses métodos permitem a digitalização do sinal, viabilizando a análise dos sons da deglutição de forma mais objetiva, a partir de parâmetros como duração, frequência do sinal e amplitude da onda, entre outros aspectos<sup>(12,22,29)</sup>.

A possibilidade de adicionar dados objetivos na análise dos sons da deglutição apresenta-se como um potencial que pode aumentar a precisão das avaliações e favorecer a detecção precoce de riscos, antes que surjam maiores complicações, podendo, também, proporcionar uma economia significativa ao setor de saúde, em razão do baixo custo operacional<sup>(22)</sup>.

## OBJETIVO

Realizar uma revisão de literatura, a fim de descrever os instrumentos utilizados para captação e análise acústica dos sinais de ausculta cervical e identificar aqueles com maior potencial para aplicação na clínica fonoaudiológica.

## ESTRATÉGIA DE PESQUISA

Este estudo caracteriza-se como uma revisão integrativa da literatura, que consiste na construção de uma análise ampla de pesquisas relevantes e síntese do estado do conhecimento de um determinado assunto, possibilitando a discussão sobre métodos e resultados de pesquisas, o suporte para a tomada de decisões e os avanços na prática clínica, além de reflexões sobre lacunas do conhecimento e a realização de futuros estudos<sup>(30)</sup>.

Com o propósito de garantir a precisão metodológica do estudo e a validação de seus resultados, foram seguidas as seis fases de construção de uma revisão integrativa da literatura<sup>(31)</sup>, sendo elas: identificação do tema e seleção da questão de pesquisa; estabelecimento dos critérios de inclusão e exclusão; identificação dos estudos pré-selecionados e selecionados; categorização dos estudos selecionados; análise e interpretação dos resultados e, por fim, apresentação da revisão/síntese do conhecimento.

Para nortear a pesquisa bibliográfica, foi elaborada a seguinte questão de investigação para este estudo: “Qual instrumento de captação e de análise acústica dos sinais de ausculta cervical apresenta maior potencial para implementação na prática clínica fonoaudiológica?”

A busca ocorreu no mês de novembro de 2020. Foram consultadas as bases de dados virtuais MEDLINE/PubMed, Scopus e Web of Science (via periódico Capes). A combinação de termos de relevância e operadores booleanos utilizados como estratégia de busca foi: “*deglutition*” OR “*deglutitions*” OR “*swallow ing*” OR “*swallowings*” OR “*swallow*” OR “*swallows*” AND “*acoustic analysis*” OR “*acoustical analysis*” OR “*auscultation*” OR “*cervical auscultation*” OR “*swallowing sounds*” OR “*swallow sounds*” OR “*signal processing*” OR “*acoustics*” OR “*acoustic*” OR “*software*”

AND “accelerometry” OR “swallowing accelerometry signals” OR “stethoscope” OR “digital stethoscope” OR “electronic stethoscope” OR “doppler effect” OR “sonar doppler” OR “microphone”. A estratégia de busca foi eleita e adaptada de acordo com a codificação e coerência de cada base de dados a ser consultada (Apêndice A).

## CRITÉRIOS DE SELEÇÃO

Para refinamento da pesquisa, foram incluídos somente artigos científicos publicados nos idiomas português, espanhol ou inglês, nos últimos cinco anos (2016-2020) e que apresentassem estudo da ausculta cervical. A decisão de abarcar apenas artigos publicados nos últimos cinco anos objetivou traçar um perfil mais atual sobre o assunto, possibilitando uma reflexão a respeito de estudos futuros.

Foram consideradas como critérios de exclusão as publicações que tivessem conteúdo incompatível com a temática desta revisão, duplicadas ou apresentadas em livros e capítulos de livros, cartas, portarias, editoriais, notícias, resumos de congressos, dissertações e teses.

Inicialmente, realizou-se a leitura criteriosa dos títulos, resumos e palavras-chave de todas as publicações encontradas por meio da estratégia de busca. Foi verificada a adequação dos trabalhos com os critérios de inclusão e exclusão, bem como a correspondência com a questão norteadora do estudo. Quando a leitura dos títulos, resumos e palavras-chave não eram suficientes para definir a seleção de um trabalho, buscava-se a publicação na íntegra.

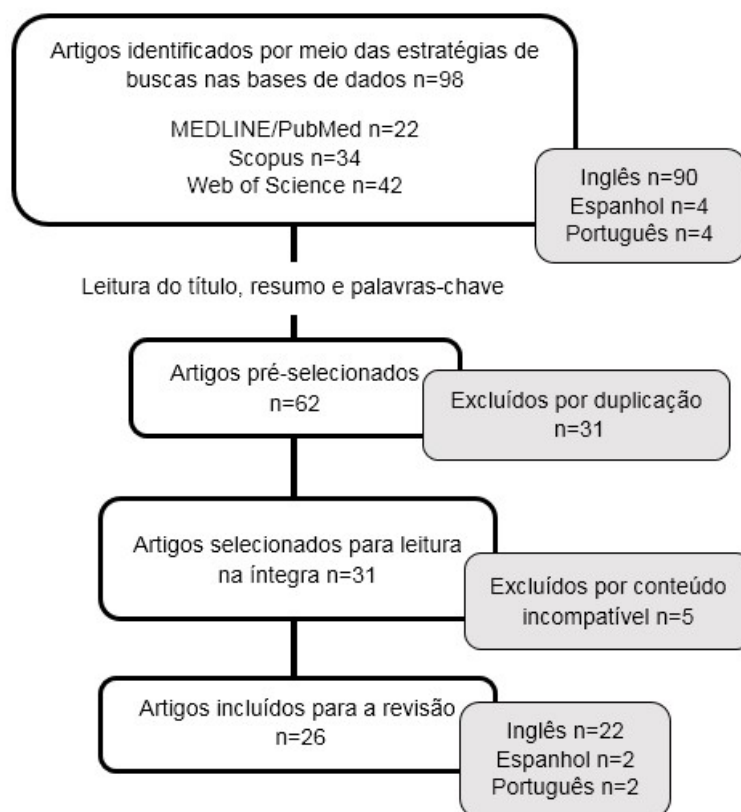
## Análise dos dados

A sistematização dos artigos selecionados para esta revisão configurou-se a partir da extração e análise das seguintes variáveis: autores e ano de publicação, objetivo da pesquisa, características da amostra, avaliação e procedimentos realizados, métodos de análise acústica e principais resultados e conclusões apresentados. Essas informações foram estruturadas em uma matriz de síntese (Quadro 1) elaborada no *software* Microsoft Office – Excel®, subdividida em nove categorias analíticas, de acordo com os instrumentos de avaliação utilizados na captação dos sinais de ausculta cervical da deglutição: acelerômetro; estetoscópio eletrônico; microfone; microfone e acelerômetro; microfone e sensor de emissão acústica; microfone, sensor Doppler e estetoscópio; sensor Doppler e microfone; sensor Doppler; sensor piezoelétrico.

As etapas de busca, seleção e sistematização inicial dos artigos foram realizadas por uma das autoras. Quando ela teve dúvidas quanto à adequação de artigos pré-selecionados aos critérios de inclusão e exclusão do estudo, os artigos foram relidos na íntegra por ambas as pesquisadoras, que avaliaram e estabeleceram um consenso sobre a seleção.

## RESULTADOS

Foram encontrados 98 artigos por meio das estratégias de buscas nas bases de dados, sendo 22 na MEDLINE/PubMed, 34 na Scopus e 42 na Web of Science. Após análise e aplicação dos critérios de inclusão e exclusão, foram selecionados 26 artigos para o estudo (Figura 1).



**Figura 1.** Fluxograma da seleção dos artigos  
**Legenda:** n = número de estudos

**Quadro 1.** Sistematização dos artigos selecionados na revisão

Autores	Objetivo	Amostra	Avaliação/ procedimentos	Análise acústica	Principais resultados e conclusões
Acelerômetro					
Steele et al. <sup>(23)</sup>	Desenvolver algoritmos para detectar problemas de deglutição, usando um sistema baseado em acelerômetro.	305 indivíduos com AVC, outras lesões cerebrais ou risco para disfagia.	Ausculata cervical com um acelerômetro de eixo duplo. Exame de VFD.	Algoritmos desenvolvidos pelos autores.	O sistema criado permitiu identificar alteração na deglutição de líquidos finos com alta precisão (sensibilidade 90,4%; especificidade 60,0%). Os algoritmos representam uma primeira etapa do desenvolvimento de um dispositivo baseado em acelerometria para triagem de deglutição.
Estetoscópio eletrônico					
Sánchez-Cardona et al. <sup>(21)</sup>	Caracterizar e classificar os sinais de ausculata cervical e discriminar os sons da deglutição daqueles associados ao ruído.	10 indivíduos saudáveis (6 homens; média de idade 27,3 anos).	Ausculata cervical com um estetoscópio eletrônico (E-scope® Cardionics).	Algoritmos selecionados e de aprendizado de máquina.	O método proposto permitiu a classificação dos sons da deglutição por meio de um estetoscópio. Apresentou acurácia de 97,7% para detecção de eventos acústicos e 91,7% para sons de deglutição por fechamento glótico, na presença de fontes de ruído.
García <sup>(24)</sup>	Embasar os processos avaliativos da ausculata cervical a partir da estruturação do perfil espectrográfico da fase faríngea.	93 indivíduos saudáveis, maiores de 18 anos.	Ausculata cervical com um estetoscópio eletrônico (Littman® 3200).	Software StethAssist.	O perfil espectrográfico da fase faríngea representou quatro eventos da deglutição que podem ser analisados a partir dos tempos obtidos na análise digital da onda acústica. Dessa forma, forneceu parâmetros de interpretação funcional da deglutição.
Microfone					
Bi et al. <sup>(32)</sup>	Monitorar a ingestão diária de alimentos de forma precisa e conveniente por meio do sistema <i>AutoDietary</i> desenvolvido.	12 indivíduos.	Ausculata cervical com um microfone de garganta.	Aplicativo de <i>smartphone</i> .	A acurácia média do reconhecimento do tipo de alimento pelo <i>AutoDietary</i> foi de 84,9%, e de até 97,6% para classificar a ingestão de alimentos líquidos e 99,7% sólidos. O <i>AutoDietary</i> se apresentou como um dispositivo promissor para o reconhecimento da ingestão alimentar na vida diária.
Honda et al. <sup>(33)</sup>	Caracterizar e identificar o processo de geração do som durante a deglutição em adultos jovens e saudáveis.	33 jovens e saudáveis, subdivididos em três grupos experimentais: 1) 10 homens e 10 mulheres, com média de idade 25,8 anos; 2) 5 homens e 5 mulheres, com média de idade 28,0 anos; 3) 3 homens, com média de idade 27,6 anos.	Ausculata cervical com um microfone condensador. Registro simultâneo da VFD na experiência 3.	Software DADiSP.	O som da deglutição pode ser dividido em três períodos: Fase oral: movimento posterior da língua e do osso hioide; Fase faríngea: movimento laríngeo, elevação do osso hioide, fechamento da epiglote e passagem do bolo para o esôfago; - Fase de reposicionamento do osso hioide e da laringe e a reabertura da epiglote.
Frakking et al. <sup>(25)</sup>	Estabelecer perfis acústicos e perceptuais dos sons da deglutição com e sem aspiração, em crianças com disfagia, e determinar se existe diferença entre esses dois tipos de deglutição.	47 crianças (57% do sexo masculino).	Ausculata cervical com um microfone condensador omnidirecional. Exame de VFD.	Software Adobe Audition. Software Matlab.	A presença de um som de liberação glótica junto a sons respiratórios normais após a deglutição são possíveis indicadores de uma deglutição não aspirativa. Por outro lado, a presença de respiração ruidosa e um ou mais dos sons de tosse, chiado, estertores, pigarro e estridor são indicativos de aspiração da deglutição, quando comparados à VFD.
Kamiyanagi et al. <sup>(34)</sup>	Avaliar a capacidade de deglutição em pacientes maxilectomizados, com e sem a prótese obturadora colocada.	27 pacientes com maxilectomia (15 homens; média de idade 66 anos); 30 controles saudáveis (14 homens; média de idade 44,9 anos).	Ausculata cervical com um microfone condensador de eletreto.	Software Computerized Speech Lab.	Observaram-se diferenças significativas, principalmente na medida de duração do pico de intensidade de variáveis analisadas inter e intragrupos. A habilidade de deglutição em pacientes com maxilectomia pode ser melhorada com o uso de uma prótese obturadora.
Li et al. <sup>(35)</sup>	Caracterizar o padrão temporal da língua, do hioide e dos músculos supra e infra-hioideos e determinar como eles estão relacionados e coordenados.	15 homens saudáveis (média de idade 27,7 anos).	Sistema de detecção composto por um sensor de pressão, um sensor de curvatura, eletrodos de superfície e um microfone.	Nenhum método descrito.	Foram confirmadas correlações significativas entre os músculos relacionados à deglutição, pressão da língua e hioide. O sistema de detecção não invasivo tem potencial como um bom contribuinte para monitorar e avaliar a fase orofaríngea da deglutição.

**Legenda:** AVC = Acidente vascular cerebral; VFD = Videofluoroscopia da deglutição; Gráficos Q-Q = gráficos quantil-quantil de distribuição de probabilidade



Quadro 1. Continuação...

Autores	Objetivo	Amostra	Avaliação/ procedimentos	Análise acústica	Principais resultados e conclusões
Frakking et al. <sup>(36)</sup>	Obter dados normativos dos parâmetros acústicos da deglutição e determinar se eles se relacionam com a idade. Obter sinais clínicos perceptivos dos sons respiratórios e de deglutição pré, durante e após a deglutição.	74 crianças saudáveis, entre 4 e 36 meses (35 homens; média de idade 17,1 meses).	Ausculta cervical com um microfone condensador omnidirecional. Um gravador de vídeo digital para visualizar o movimento laríngeo associado à deglutição.	Software Adobe Audition. Software Matlab.	Os sons da deglutição tornam-se mais altos à medida que as crianças ficam mais velhas, e, com os sólidos mastigáveis, ficam mais curtos. A maioria das crianças tem sons respiratórios normais antes e depois da deglutição. Um número muito pequeno apresenta tosse única ocasional com fluidos finos, dita como normal ao processo de aprendizagem e controle dos fluxos e volumes dos alimentos.
Almeida et al. <sup>(37)</sup>	Caracterizar o sinal acústico da aspiração traqueal silenciosa em crianças com disfagia orofaríngea.	18 crianças (56% meninas, idade mediana de 6 anos). Grupos: 8 que aspiram e 10 que não aspiram.	Ausculta cervical com um microfone condensador de eletreto. Exame de VFD.	Software Raven.	A curva de densidade de potência espectral de deglutições com aspiração apresentou um padrão ascendente, enquanto a curva das deglutições normais foi plana. A técnica não invasiva identificou a aspiração por um aumento da curva de densidade de potência espectral nos sons aspirados.
Kurihara et al. <sup>(38)</sup>	Desenvolver um dispositivo de detecção de movimento de deglutição e um sistema de estimativa de estado de deglutição.	7 homens saudáveis (média de idade 22 anos; de altura: 175,1 cm; de peso: 61,6 kg).	Dispositivo compreende um microfone condensador de eletreto bidirecional e tubo de ar. O experimento incluiu f1 (engolir nada), f2 (chá), f3 (chá espessado) e f4 (bolo de arroz).	Software Matlab.	À medida que a viscosidade aumentou, a laringe exibiu movimentos complexos para engolir o alimento. Esses movimentos foram refletidos no sinal. O método proposto foi validado com base na estimativa de f1 -f4, e as acurácias de 0,99, 0,81, 0,84 e 0,91, respectivamente, foram alcançadas.
Miyagi et al. <sup>(39)</sup>	Investigar o uso do aprendizado de máquina para classificar os sons da deglutição como: normal, ou disfagia leve, moderada e grave.	17 homens e 10 mulheres saudáveis (média de idade 22,4); 78 homens e 65 mulheres disfágicos (média de idade 83,3).	Ausculta cervical com um microfone de garganta.	Software Audacity e algoritmo de aprendizado de máquina.	Em indivíduos normais e disfágicos, a medida F máxima foi de 78,9%. Para sujeitos normais e disfágicos de graus leve, moderado e grave, os valores da medida F foram 65,6%, 53,1%, 51,1% e 37,1%, respectivamente, insuficientes para usar o classificador como um método independente para o diagnóstico.
Microfone e Acelerômetro - Ausculta Cervical de Alta Resolução					
Dudik et al. <sup>(40)</sup>	Caracterizar os sinais da ausculta cervical de indivíduos com disfagia que aspiram.	76 adultos (50 homens; média de idade 62 anos), 17 com diagnóstico de acidente vascular cerebral (AVC), 59 com outras condições médicas.	Ausculta cervical com um acelerômetro triaxial e um microfone de contato. Exame de VFD.	Software LabView e algoritmos selecionados.	Foram apresentadas poucas diferenças entre as deglutições seguras e inseguras com base nas características escolhidas. Vários recursos estatísticos devem ser usados simultaneamente quando a aspiração for escolhida como uma variável em trabalhos futuros.
Movahedi et al. <sup>(41)</sup>	Investigar se os sinais da deglutição registrados por um microfone e um acelerômetro triaxial diferem entre si ou carregam informações exclusivas sobre a função de deglutição.	72 participantes (42 homens; média de idade 63, anos), desses, 20 com histórico de AVC.	Ausculta cervical com um acelerômetro triaxial e um microfone de contato. Exame de VFD.	Software LabView e algoritmos selecionados.	Embora os sons e as vibrações da deglutição possam ter as mesmas fontes fisiológicas, os sinais da deglutição registrados pelo microfone e pelo acelerômetro diferiram entre si nos domínios do tempo e da frequência. As informações fornecidas pelos sons e pelas vibrações da deglutição não são intercambiáveis.
Dudik et al. <sup>(42)</sup>	Desenvolver um método de investigação das alterações de deglutição, e caracterizar e comparar as deglutições de pacientes saudáveis e não saudáveis.	Grupo controle: 55 indivíduos saudáveis (28 homens; média de idade 39 anos). Grupo estudo: 53 pacientes com suspeita de disfagia: 13 (10 homens; média de idade 66 anos) com diagnóstico atual de AVC e 40 (24 homens; média de idade 62 anos) com outras condições médicas.	Ausculta cervical com um acelerômetro triaxial e um microfone de contato. Grupo estudo: exame de VFD.	Software LabView e algoritmos selecionados.	Quase todos os recursos escolhidos para vibrações e sons mostraram diferenças significativas entre as deglutições saudáveis e as não saudáveis, apesar da ausência de aspiração. Os achados devem colaborar com o campo da ausculta cervical e servir como referência para investigações futuras sobre métodos de caracterização mais especializados.

**Legenda:** AVC = Acidente vascular cerebral; VFD = Videofluoroscopia da deglutição; Gráficos Q-Q = gráficos quantil-quantil de distribuição de probabilidade

Quadro 1. Continuação...

Autores	Objetivo	Amostra	Avaliação/ procedimentos	Análise acústica	Principais resultados e conclusões
Rebrion et al. <sup>(43)</sup>	Comparar o deslocamento do osso hioide a partir de imagens de VFD, com as características do sinal da ausculta.	25 pacientes (12 homens; média de idade 60 anos).	Ausculta cervical com um acelerômetro triaxial e um microfone de contato. Exame de VFD.	Software LabView e algoritmos selecionados.	Os sons e vibrações da deglutição estão relacionados aos movimentos horizontais e verticais das partes anterior e posterior do osso hioide.
Kurosu et al. <sup>(44)</sup>	Examinar se existe associação entre os sinais acústicos da ausculta cervical de alta resolução e os eventos cinemáticos da deglutição.	35 pacientes com AVC e suspeita de disfagia (26 homens; média de idade 65,8 anos).	Ausculta cervical com um acelerômetro triaxial e um microfone de contato. Exame de VFD.	Software LabView e algoritmos selecionados.	Existe uma forte relação entre os sinais de ausculta cervical de alta resolução e vários eventos cinemáticos da deglutição (abertura do esfíncter esofágico superior; fechamento do vestibulo laríngeo; reabertura do vestibulo laríngeo; início, deslocamento máximo e repouso do hioide). Há potencial desse método de ausculta cervical ser desenvolvido para diagnóstico e tratamento clínico de reabilitação da disfagia.
Donohue et al. <sup>(45)</sup>	Investigar a capacidade da ausculta cervical de alta resolução de rastrear o deslocamento do osso hioide durante a deglutição.	114 pacientes (65 homens; idades entre 19 e 94 anos) com suspeita /confirmação de disfagia; 16 adultos saudáveis.	Ausculta cervical com um acelerômetro triaxial e um microfone de contato. Exame de VFD.	Software LabView e algoritmos de aprendizado de máquina.	Os algoritmos de aprendizado de máquina conseguiram localizar aproximadamente metade (51%) do conjunto de dados do paciente, 49,9% do conjunto de dados saudável) do corpo hioide em cada quadro dos segmentos da deglutição. Há possibilidade de rastreamento preciso e automatizado do deslocamento do osso hioide a partir de sinais de ausculta cervical de alta resolução sem o uso de imagens de VFD.
Donohue et al. <sup>(46)</sup>	Saber se os sinais de ausculta cervical de alta resolução podem diferenciar entre deglutições de pessoas saudáveis e de pessoas com doenças neurodegenerativas.	20 pacientes com doenças neurodegenerativas (10 homens; média de idade 61,25 anos); 51 adultos saudáveis (22 homens; média de idade 67,21 anos).	Ausculta cervical com um acelerômetro triaxial e um microfone de contato. Exame de VFD.	Software LabView e algoritmos de aprendizado de máquina.	Características do sinal de ausculta cervical de alta resolução combinadas a métodos estatísticos e técnicas de aprendizado de máquina podem diferenciar efetivamente as deglutições de pessoas saudáveis daquelas de pessoas com doenças neurodegenerativas, com um alto grau de precisão (99%), sensibilidade (100%) e especificidade (99%).
Microfone e Sensor de Emissão Acústica					
Kamiyanagi et al. <sup>(47)</sup>	Estabelecer um método de avaliação da deglutição que possa ser utilizado para triagem com confiabilidade.	6 homens saudáveis (média de idade 40,2 anos) e 6 homens com prótese de aumento palatino (média de idade 72,1 anos).	Ausculta cervical com um microfone condensador de garganta e um sensor de emissão acústica.	Software Sound it! Premium e algoritmos selecionados.	O tempo de duração do som da deglutição medido pelo microfone foi significativamente mais alto em pacientes com prótese de aumento palatino. O sensor de emissão acústica permitiu a medição de faixas de alta frequência que não podiam ser medidas com o microfone. Os achados sugeriram a validação da análise do som da deglutição com base nas distribuições de probabilidade por meio de gráficos Q-Q.
Chikai et al. <sup>(26)</sup>	Propor um sistema de medição de sons da deglutição que emprega um sensor capaz de adquirir informações acústicas em uma ampla faixa de frequência.	1 indivíduo saudável do sexo masculino (idade: 29 anos).	Ausculta cervical com um microfone condensador de garganta e um sensor de emissão acústica.	Software Adobe Audition e algoritmos selecionados.	O sensor de emissão acústica exibiu sinais acústicos superiores 3 KHz, o que não foi possível com o microfone. Os dados medidos com o sensor de emissão acústica refletiram de forma mais sensível e, combinados aos gráficos Q-Q, apresentaram potencial para distinguir a diferença na viscosidade da amostra.

**Legenda:** AVC = Acidente vascular cerebral; VFD = Videofluoroscopia da deglutição; Gráficos Q-Q = gráficos quantil-quantil de distribuição de probabilidade

Quadro 1. Continuação...

Autores	Objetivo	Amostra	Avaliação/ procedimentos	Análise acústica	Principais resultados e conclusões
Microfone, Sensor Doppler e Estetoscópio					
Taveira et al. <sup>(48)</sup>	Analisar a validade diagnóstica de diferentes métodos para avaliação dos sons de deglutição, quando comparados com o exame de VFD.	3 artigos: - Reino Unido (2004): estetoscópio; - Brasil (2013): sonar Doppler; - Japão (2015): microfone A amostra variou de 10 a 30 indivíduos saudáveis e 14 a 70 disfágicos.	Artigos nos quais o objetivo principal era avaliar a acurácia dos sons de deglutição foram pesquisados em cinco bancos de dados eletrônicos sem limitações de idioma ou tempo de publicação.	Reino Unido (2004): não se aplica. Brasil (2013): <i>software</i> VoxMetria. Japão (2015): <i>Software</i> Audio Director; Audacity e algoritmos selecionados.	Os valores de acurácia foram 0,94 para microfone, 0,80 para Doppler e 0,60 para estetoscópio. O Doppler apresentou excelente acurácia diagnóstica na discriminação dos sons da deglutição. O microfone relatou boa sensibilidade para discriminação dos sons da deglutição de pacientes disfágicos. O estetoscópio apresentou melhor teste de triagem na discriminação dos sons da deglutição.
Sensor Doppler e microfone					
Choi et al. <sup>(49)</sup>	Desenvolver um sistema de monitoramento e avaliação da deglutição não invasivo e quantitativo.	24 indivíduos saudáveis (14 homens; média de idade 30,5 anos).	Sistema: uma matriz de sensores Doppler ultrassônicos, um microfone condensador de eletreto omnidirecional, uma unidade de medição inercial e um módulo Bluetooth.	Programa de processamento de sinal desenvolvido pelos autores.	As amplitudes de pico e a energia diminuíram significativamente com a viscosidade e o intervalo de tempo pico a pico e a duração aumentaram com o volume. O sistema desenvolvido poderá ser usado com eficácia para rastreamento, monitoramento e quantificação a função de deglutição, mediante novas pesquisas.
Sensor Doppler					
Soria et al. <sup>(13)</sup>	Comparar os parâmetros acústicos da deglutição orofaríngea entre faixas etárias distintas.	Grupo I: 75 idosos saudáveis (média de idade 71 anos). Grupo II: 72 adultos saudáveis (média de idade 42 anos).	Sinal sonoro capturado pelo sonar Doppler.	<i>Software</i> VoxMetria.	Houve modificação do padrão acústico da deglutição, tanto em relação à consistência quanto ao volume do bolo alimentar, quando comparados idosos e adultos. A característica principal encontrada nos idosos foi uma curva com menor amplitude e maior tempo que nos adultos.
Lee <sup>(26)</sup>	Detectar a ingestão de alimentos através do sonar Doppler ultrassônico.	10 indivíduos saudáveis (7 homens; idades entre 17 e 50 anos).	Deteção dos eventos da mastigação e deglutição com sonar Doppler acústico.	Gerador de função 33250A, algoritmos selecionados e de aprendizado de máquina.	O método de detecção de ingestão alimentar baseado em sonar Doppler acústico produziu resultados promissores com taxas máximas de reconhecimento de 91,4% para mastigação e 78,4% para deglutição. Além do alto desempenho de reconhecimento, provou ser conveniente e seguro e não causou problemas de pele relacionados ao sensor de contato.
Sensor Piezoelétrico					
Yagi et al. <sup>(27)</sup>	Avaliar a eficiência e eficácia de um sistema de monitoramento da deglutição que usa fluxo respiratório, o som da deglutição e o movimento laríngeo.	11 indivíduos saudáveis (9 homens; média de idade 40,1 anos); 10 pacientes com disfagia (4 homens; média de idade, 75,6 anos).	O sistema compreende sensor de fluxo do tipo cânula nasal e um sensor piezoelétrico. Exame de VFD.	<i>Software</i> Matlab e algoritmos selecionados.	O tempo de retardo de elevação e o tempo de elevação laríngea foram significativamente prolongados em pacientes com disfagia, principalmente em alimentos com maior viscosidade. A taxa de ocorrência do padrão inspiração-deglutição aumentou significativamente no grupo de pacientes. O dispositivo pode facilitar a avaliação de alguns aspectos da disfunção da deglutição, principalmente a coordenação entre a deglutição e a respiração.

**Legenda:** AVC = Acidente vascular cerebral; VFD = Videofluoroscopia da deglutição; Gráficos Q-Q = gráficos quantil-quantil de distribuição de probabilidade

A partir dos artigos selecionados, foram extraídas informações substanciais para evidenciar os aspectos analisados neste estudo (Quadro 1).

Conforme constatado, o microfone foi o instrumento de captação dos sinais de ausculta cervical mais utilizado, seguido pela sua combinação com o acelerômetro. Já, para análise



acústica desses sinais, uma variedade de recursos disponíveis, como *softwares* e/ou algoritmos, foram selecionados de acordo com o objetivo de cada estudo.

## DISCUSSÃO

### Instrumentos de captação dos sinais de ausculta cervical

A ausculta cervical com estetoscópio é uma das técnicas instrumentais não invasivas mais utilizadas pelos fonoaudiólogos para avaliação da fase faríngea da deglutição. Devido à interpretação subjetiva dessa técnica, métodos de ausculta cervical digital com diferentes instrumentos de captação que possibilitam uma análise objetiva e/ou automática dos sinais são apresentados na literatura<sup>(21)</sup>. Entretanto, para que uma nova técnica obtenha aceitabilidade clínica, deve atender critérios, como ser bem pesquisada, de modo que forneça informações sobre sua confiabilidade; ser facilmente aplicada na situação clínica e apresentar, preferencialmente, baixo custo. Ainda, o equipamento utilizado e sua aplicação devem ser padronizados, de maneira que as informações sejam comparáveis entre as clínicas de disfagia<sup>(50)</sup>.

Observou-se, nos estudos selecionados, que os principais instrumentos utilizados para captação dos sinais da deglutição foram o microfone e sua combinação com o acelerômetro, técnica definida como ausculta cervical de alta resolução, que registra sons e vibrações da função deglutoria. Assim como esses métodos, outros instrumentos de registro dos sinais de ausculta cervical também apresentaram importantes resultados nessa área. Essas informações serão descritas a seguir, organizadas de acordo com as principais contribuições que oferecem para prática clínica fonoaudiológica.

As fontes cinemáticas dos sinais acústicos da deglutição ainda não foram totalmente elucidadas, apesar de todas as possibilidades que envolvem a ausculta cervical digital<sup>(44)</sup> e a importância que essa interpretação possui. Em vista disso, algumas pesquisas baseadas em diferentes metodologias tiveram essa temática como objeto de estudo.

O perfil espectrográfico da fase faríngea da deglutição normal, para as consistências líquida e purê, em indivíduos saudáveis, maiores de 18 anos, foi estruturado por meio de sinais de ausculta cervical obtidos com um estetoscópio eletrônico<sup>(24)</sup>. O tempo total da fase faríngea foi inferior a 1 segundo e representou quatro eventos da deglutição que podem ser analisados a partir dos tempos obtidos na análise digital da onda acústica:

- o tempo de trânsito faríngeo, que apresentou média de 0,409 segundos e, para análise de deglutições normais, deverá durar, aproximadamente, metade do tempo de apneia da deglutição e estar posicionado no centro do gráfico no estudo da espectrografia;
- o tempo de apneia da deglutição, que apresentou média de 0,78 segundos e fatores acústicos de baixa intensidade, devendo estar no início (ativação de proteção da laringe) e no final (abertura da região glótica) da representação espectrográfica e, por isso, sua posição no gráfico será maior;

- relação temporal entre a ativação dos mecanismos de proteção das vias aéreas inferiores e o início da passagem do bolo alimentar pela fase faríngea, que apresentou média de 0,134 segundos e será representada no início do gráfico da espectrografia, logo após a ativação de proteção laríngea;
- o tempo que a laringe levou para retornar a sua função respiratória após a passagem completa do alimento, que apresentou um intervalo aproximado de 0,20 a 0,26 segundos e sua posição no gráfico será no final.

Um estudo que utilizou sinais de ausculta cervical captados por um microfone condensador e imagens do exame de videofluoroscopia apresentou a divisão do som da deglutição em três períodos, associados a cada fase de seus movimentos: fase oral, que compreende o movimento posterior da língua e do osso hioide; fase faríngea, associada ao movimento laríngeo, elevação do osso hioide, fechamento da epiglote e passagem do bolo para o esôfago; fase de reposicionamento do osso hioide e da laringe, com a reabertura da epiglote<sup>(33)</sup>.

Outro estudo analisou a associação entre os sinais da ausculta cervical de alta resolução, registrados por um microfone de contato e um acelerômetro triaxial, e os eventos cinemáticos da deglutição durante a fase faríngea, avaliados por imagens do exame de videofluoroscopia. Características de domínio do tempo e frequência foram calculadas e os valores máximos de cada variável, como desvio padrão, assimetria, curtose, frequência centroidal, largura de banda e entropia de onda, foram associados à elevação do hioide, fechamento do vestibulo laríngeo, abertura do esfíncter esofágico superior, contato da base da língua e parede posterior da faringe<sup>(44)</sup>. Além disso, outros pesquisadores evidenciaram que os movimentos horizontais e verticais da parte anterior e posterior do osso hioide também apresentam relação com os sons e vibrações da deglutição<sup>(43)</sup>.

Na investigação de deglutições normais e alteradas em crianças, os sinais de ausculta cervical foram obtidos por um microfone condensador de eletreto e comparados ao exame de videofluoroscopia. Um primeiro estudo destacou sinais acústicos e perceptuais, indicativos de aspiração na presença de respiração ruidosa e de um ou mais dos seguintes sons após a deglutição: tosse, chiado, estertores, pigarro e estridor. Os profissionais de saúde foram encorajados a encaminhar o paciente para uma avaliação instrumental adicional, quando da presença desses sinais na ausculta. Os autores descrevem como padrão indicativo de normalidade a presença de um som de liberação glótica junto a sons respiratórios normais após a deglutição<sup>(25)</sup>. Outro estudo apresentou a possibilidade de identificar aspiração por meio da curva de densidade espectral, que é um parâmetro capaz de verificar alterações nos sinais sonoros respiratórios imediatamente após a deglutição. A curva de deglutições com aspiração apresentou um padrão ascendente, enquanto a curva de deglutições normais foi plana<sup>(37)</sup>.

Em estudo desenvolvido com sinais de ausculta cervical de alta resolução, os autores observaram que, para diferenciar deglutições normais das alteradas, uma série de recursos estatísticos devem ser empregados na análise das características do sinal acústico<sup>(42)</sup>. Quando as características do sinal de ausculta cervical

de alta resolução foram combinadas a métodos estatísticos e a técnicas de aprendizado de máquina, puderam prever se as deglutições eram de pessoas saudáveis ou de pacientes com doenças neurodegenerativas e suspeita de disfagia, com alto grau de precisão (99%), sensibilidade (100%) e especificidade (99%)<sup>(46)</sup>.

Por fim, ao utilizar um sensor piezoelétrico para registro dos sons da deglutição e imagens do exame de videofluoroscopia, um estudo destacou que o tempo de retardo de elevação e o tempo de elevação laringea foram significativamente prolongados em pacientes com disfagia, principalmente em alimentos com maior viscosidade. Além disso, a taxa de ocorrência do padrão inspiração-deglutição aumentou significativamente no grupo desses pacientes<sup>(27)</sup>.

Quando analisadas as variações dos resultados obtidos em relação às características do alimento ingerido, pôde-se verificar, nos estudos, que a laringe desempenha movimentos complexos para deglutições de bolos alimentares de maior viscosidade<sup>(38)</sup>; o uso combinado de sensor de emissão acústica e gráficos de distribuição de probabilidade (gráficos Q-Q) permite distinguir diferenças de viscosidades<sup>(26)</sup>; as medidas de amplitude de pico e a energia diminuem significativamente com a viscosidade do bolo alimentar, o intervalo de tempo, pico a pico, e a duração aumentam com o volume do bolo<sup>(49)</sup>; o padrão acústico da deglutição se modifica em relação à consistência e volume do bolo alimentar com o passar dos anos, sendo que, nos idosos, apresenta uma curva com menor amplitude e maior tempo do que nos adultos<sup>(13)</sup>.

Para análise quanto às características do alimento, foram utilizados os seguintes instrumentos: microfone condensador de eletreto bidirecional<sup>(38)</sup>; microfone condensador de garganta e sensor de emissão acústica<sup>(26)</sup>; sensor Doppler e microfone condensador de eletreto omnidirecional<sup>(49)</sup>; sensor Doppler<sup>(13)</sup>. Observou-se uma grande diversidade metodológica nos estudos analisados. Embora outros dispositivos, como estetoscópio eletrônico, sensor de emissão acústica, sensor Doppler e sensor piezoelétrico também tenham evidenciado resultados importantes para clínica, o microfone e sua combinação com o acelerômetro se destacaram. Entretanto, mesmo na seleção desses dois instrumentos existe uma variedade de modelos disponíveis para cada um, que possibilitam diferentes registros do sinal.

Apesar dos sinais acústicos obtidos com o microfone e o acelerômetro possuírem as mesmas fontes fisiológicas, diferenças nos domínios do tempo e da frequência são observadas, demonstrando que os dados fornecidos por esses instrumentos não são intercambiáveis<sup>(41)</sup>. Tanto os sons, quanto as vibrações da deglutição apresentam informações úteis sobre a função. Em vista disso, o uso combinado do microfone e do acelerômetro para obtenção dos sinais de auscultação cervical pode ser promissor para os pesquisadores da área. Eles acreditam que o sistema de auscultação cervical de alta resolução pode ser um valioso contribuinte para o rastreamento da disfagia e, no futuro, um método não invasivo e adjuvante no diagnóstico de distúrbios de deglutição<sup>(45)</sup>.

Com base nos estudos analisados, destaca-se que a seleção do instrumento de captação dos sinais de auscultação cervical digital mais adequado é uma etapa imprescindível a ser padronizada para utilização dessa técnica na prática clínica fonoaudiológica. Entretanto, para que esses sinais forneçam informações substanciais para avaliação da deglutição, a metodologia de análise deve ser

critériosamente selecionada. Diante disso, vale considerar que uma análise mediante parâmetros objetivos também depende de conhecimento prévio do examinador para interpretá-los e que a maior contribuição seria se essa análise pudesse ser feita de maneira automática.

## Métodos de análise acústica

A análise acústica dos sinais de auscultação cervical pode ser realizada com uma variedade de recursos disponíveis. Nos estudos incluídos nesta pesquisa foram identificados *softwares*, sendo LabView, Matlab, Adobe Audition, VoxMetria e Audacity os mais utilizados, além de algoritmos selecionados e de aprendizado de máquina, algoritmos e programa de processamento de sinal desenvolvidos pelos autores, aplicativo de *smartphone* e gerador de funções. A seleção do melhor método é guiada pelo objetivo de cada estudo, ou seja, pelas características que se deseja extrair e analisar. Além disso, a possibilidade de criar novos métodos de análise vem motivando alguns pesquisadores não apenas da área da saúde, mas também da engenharia e informática.

Entre os métodos de análise, um estudo desenvolveu e avaliou três algoritmos para detectar distúrbio e três para detectar eficiência da deglutição<sup>(23)</sup>. Outros pesquisadores buscaram monitorar a ingestão alimentar diária por meio de um aplicativo de *smartphone*, desenvolvido e programado com algoritmos específicos, para reconhecer e classificar diferentes alimentos<sup>(32)</sup>. Já em um terceiro estudo, um programa de processamento de sinal foi criado para monitorar e avaliar a deglutição de maneira quantitativa<sup>(49)</sup>. Os resultados dessas pesquisas caracterizaram tais métodos de análise desenvolvidos com potencial para triagem e monitoramento da deglutição mediante novas pesquisas.

Quando combinados o uso de recursos estatísticos à análise acústica dos sinais de auscultação cervical, muitos parâmetros podem ser obtidos. Entretanto, nenhum recurso estatístico único é capaz de diferenciar deglutições seguras das inseguras<sup>(40)</sup>. De acordo com isso, pesquisadores realizaram novo estudo, utilizando uma ampla seleção de parâmetros estatísticos para caracterizar as deglutições saudáveis e as com distúrbio. Observaram que deglutições normais de grupo controle saudável e de pacientes com disfagia têm padrões distintos, apesar da ausência de aspiração<sup>(42)</sup>.

A fim de colaborar com os métodos de análise, os algoritmos de aprendizado de máquina, definidos como um processo iterativo para determinar a acurácia a partir de um padrão-ouro, apresentaram resultados importantes na área de pesquisa discutida. Esse recurso é citado na literatura como útil para detecção, reconhecimento e classificação dos eventos da deglutição. Quando aplicado em um estudo, o método apresentou acurácia global de 97,7% para detecção de eventos acústicos e 91,7% para sons de deglutição por fechamento glótico, na presença de outras fontes de ruído (pronúncia de um fonema e som de pigarro)<sup>(21)</sup>. Em outro estudo, produziu resultados com taxas máximas de reconhecimento de 78,4% para deglutição<sup>(28)</sup>.

O uso de aprendizado de máquina de recursos de sinal de auscultação cervical de alta resolução demonstrou viabilidade de rastreamento preciso e automatizado do

deslocamento do osso hioide, sem o uso de exame de videofluoroscopia da deglutição, com nível de precisão de 50,75%. Embora esse nível não pareça significativo, a estrutura do osso hioide é muito pequena e, em vista disso, a possibilidade de detectar sua posição em mais de 50% dos segmentos de deglutição sem o uso de imagens foi considerada bastante notável<sup>(45)</sup>.

Conforme constatado, os algoritmos de aprendizado de máquina demonstraram ser um recurso promissor para análise dos sinais de ausculta cervical na prática clínica fonoaudiológica, por meio de evidências de sua alta acurácia. Com isso, possibilitaram a utilização de métodos não invasivos de captação e análise automática para triagem, avaliação e monitoramento da deglutição. Entretanto, novas pesquisas são necessárias para padronização e validação desses algoritmos quanto ao método de captação dos sinais de ausculta cervical utilizado e quanto a variáveis, como deglutição normal e alterada por condições médicas distintas, aspiração silente, idade, sexo, índice de massa corporal, volume e consistência dos alimentos.

De modo geral, diferentes métodos de captação e análise dos sinais de ausculta cervical foram apresentados e descritos quanto ao potencial para implementação na prática clínica. Esses métodos evidenciaram os avanços das pesquisas em parceria entre as áreas da saúde, engenharia e informática, em busca de recursos que possibilitam registro e análise objetiva e/ou automática dos sinais da deglutição, com boa acurácia e fácil aplicabilidade clínica. Além disso, os estudos apresentados permitem aos fonoaudiólogos uma reflexão sobre a utilização de recursos tecnológicos na clínica e seu potencial para aprimoramento da avaliação clínica das disfagias orofaríngeas.

## CONCLUSÃO

Esta revisão revelou um cenário de pesquisa atual e em potente crescimento sobre ausculta cervical e análise dos sinais da deglutição.

O método de ausculta cervical de alta resolução, combinado aos algoritmos de aprendizado de máquina, demonstrou grandes potenciais para utilização na prática clínica fonoaudiológica para avaliação e monitoramento da deglutição. Novos estudos devem ser realizados, a fim de padronizar e validar esses métodos.

## REFERÊNCIAS

1. Dray TG, Hillel AD, Miller RM. Dysphagia caused by neurologic deficits. *Otolaryngol Clin North Am*. 1998 Jun;31(3):507-24. [http://dx.doi.org/10.1016/S0030-6665\(05\)70067-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0030-6665(05)70067-0). PMID:9628947.
2. Macedo ED Fo, Gomes GF, Furkim AM. Manual de cuidados do paciente com disfagia. São Paulo: Lovise; 2000. 122 p.
3. Marchesan IQ. O que se considera normal na deglutição. In: Jacobi, JS, Levy DS, Silva LMC, organizadores. *Disfagia: avaliação e tratamento*. Rio de Janeiro: Revinter; 2003. p. 3-17.
4. Cámpora H, Falduti A. Evaluación y tratamiento de las alteraciones de la deglución. *Rev Am Med Respir*. [Internet]. 2012 [citado em 2020 Nov 15];12(3):98-107. Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=382138394004>
5. Ferrucci JL, Mangilli LD, Sassi FC, Limongi SCO, Andrade CRF. Sons da deglutição na prática fonoaudiológica: análise crítica da literatura. *Einstein*. 2013;11(4):535-9. <http://dx.doi.org/10.1590/S1679-45082013000400024>. PMID:24488399.
6. Padovani AR, Moraes DP, Mangili LD, Andrade CRF. Protocolo fonoaudiológico de avaliação do risco para disfagia (PARD). *Rev Soc Bras Fonoaudiol*. 2007;12(3):199-205. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-80342007000300007>.
7. Patatas OHG, Gonçalves MIR, Chiari BM, Gielow I. Parâmetros de duração dos sinais acústicos da deglutição de indivíduos sem queixa. *Rev Soc Bras Fonoaudiol*. 2011;16(3):282-90. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-80342011000300008>.
8. Hamlet SL, Patterson RL, Fleming SM, Jones LA. Sounds of swallowing following total laryngectomy. *Dysphagia*. 1992;7(3):160-5. <http://dx.doi.org/10.1007/BF02493450>. PMID:1499359.
9. Morinière S, Boiron M, Alison D, Makris P, Beutter P. Origin of the sound components during pharyngeal swallowing in normal subjects. *Dysphagia*. 2008 Set;23(3):267-73. <http://dx.doi.org/10.1007/s00455-007-9134-z>. PMID:18071792.
10. Spadotto AA, Gatto AR, Cola PC, Montagnoli AN, Schelp AO, Silva RG, et al. Software para análise quantitativa da deglutição. *Radiol Bras*. 2008;41(1):25-8. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-39842008000100008>.
11. Santini CS. Disfagia neurogênica. In: Furkim AM, Santini CS, organizadores. *Disfagias orofaríngeas*. São Paulo: Pró Fono; 2001. p. 19-34.
12. Santos RS, Macedo-Filho E. D. Sonar Doppler como instrumento de avaliação da deglutição. *Arq Int Otorrinolaringol*. 2006;10(3):82-91.
13. Soria FS, Silva RG, Furkim AM. Acoustic analysis of oropharyngeal swallowing using Sonar Doppler. *Rev Bras Otorrinolaringol*. 2016 Jan-Fev;82(1):39-46. <http://dx.doi.org/10.1016/j.bjorl.2015.12.001>. PMID:26718958.
14. Montoni NPC. Métodos instrumentais complementares. In: Dedivitis RA, Santoro PP, Arakawa-Sugueno L, organizadores. *Manual prático de disfagia: diagnóstico e tratamento*. Rio de Janeiro: Revinter; 2017.
15. Vale-Prodromo LP, Carrara-de-Angelis E, Barros APB. Avaliação clínica fonoaudiológica das disfagias. In: Jotz GP, Carrara-de-Angelis E, Barros APB, organizadores. *Tratado de deglutição e disfagia: no adulto e na criança*. Rio de Janeiro: Revinter; 2009. p. 61-7.
16. Castro E, Fonseca L, Matos JP, Bernardo T, Silva AP. Videoendoscopia da deglutição: protocolo de avaliação. *Port J ORL*. 2012;50(3):197-204. <http://dx.doi.org/10.34631/sporl.112>.
17. Coriolano MGWS, Lins OG, Belo LR, Menezes DC, Moraes SRA, Asano AG, et al. Monitorando a deglutição através da eletromiografia de superfície. *Rev CEFAC*. 2020;12(3):434-40. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-18462010005000015>.
18. Honda T, Baba T, Fujimoto K, Nagao K, Takahashi A, Ichikawa T. Swallowing sound waveform and its clinical significance: evaluation using ultrasonography. *J. Oral Health Biosci*. 2015;28(1):21-7.
19. Gonçalves MIR, Oliveira IC No. Diagnóstico instrumental na deglutição normal e patológica. In: Fernandes FDM, Mendes BCA, Navas ALPGP, organizadores. *Tratado de Fonoaudiologia*. 2. ed. São Paulo: Roca; 2009. p. 468-70.



20. Youmans SR, Stierwalt JA. Normal swallowing acoustics across age, gender, bolus viscosity, and bolus volume. *Dysphagia*. 2011;26(4):374-84. <http://dx.doi.org/10.1007/s00455-010-9323-z>. PMID:21225287.
21. Sánchez-Cardona Y, Orozco-Duque A, Roldán-Vasco S. Caracterización y clasificación de señales de auscultación cervical adquiridas con estetoscópio para detección automática de sonidos deglutorios. *Rev Mex Ing Biomed*. 2018;39(2):205-16. <http://dx.doi.org/10.17488/RMIB.39.2.6>.
22. Dudik JM, Coyle JL, Sejdić E. Dysphagia screening: contributions of cervical auscultation signals and modern signal-processing techniques. *IEEE Trans Hum Mach Syst*. 2015;45(4):465-77. <http://dx.doi.org/10.1109/THMS.2015.2408615>. PMID:26213659.
23. Steele CM, Mukherjee R, Kortelainen JM, Pölönen H, Jedwab M, Brady SL, et al. Development of a non-invasive device for swallow screening in patients at risk of oropharyngeal dysphagia: results from a prospective exploratory study. *Dysphagia*. 2019;34(5):698-707. <http://dx.doi.org/10.1007/s00455-018-09974-5>. PMID:30612234.
24. Vargas García M. Perfil espectrográfico de la deglución normal en el adulto. *Nutr Hosp*. 2019;36(2):412-9. <http://dx.doi.org/10.20960/nh.2173>. PMID:30836762.
25. Frakking T, Chang A, O'Grady K, David M, Weir K. Aspirating and nonaspirating swallow sounds in children: a pilot study. *Ann Otol Rhinol Laryngol*. 2016;125(12):1001-9. <http://dx.doi.org/10.1177/0003489416669953>. PMID:27683588.
26. Chikai M, Kamiyanagi A, Kimura K, Seki Y, Endo H, Sumita Y, et al. Pilot study on an acoustic measurements system of the swallowing function using an acoustic-emissions microphone. *J Adv Comput Intell Inform*. 2017;21(2):293-300. <http://dx.doi.org/10.20965/jaciii.2017.p0293>.
27. Yagi N, Nagami S, Lin MK, Yabe T, Itoda M, Imai T, et al. A noninvasive swallowing measurement system using a combination of respiratory flow, swallowing sound, and laryngeal motion. *Med Biol Eng Comput*. 2017;55(6):1001-17. <http://dx.doi.org/10.1007/s11517-016-1561-2>. PMID:27665103.
28. Lee KS. Food intake detection using ultrasonic doppler sonar. *IEEE Sens J*. 2017;17(18):6056-68. <http://dx.doi.org/10.1109/JSEN.2017.2734688>.
29. Cagliari CF, Jurkiewicz AL, Santos RS, Marques JM. Análise por sonar Doppler dos sons da deglutição em indivíduos pediátricos normais. *Rev Bras Otorrinolaringol*. 2009;75(5):706-15. <http://dx.doi.org/10.1590/S1808-86942009000500016>.
30. Mendes KDS, Silveira RCCP, Galvão CM. Revisão integrativa: método de pesquisa para a incorporação de evidências na saúde e na enfermagem. *Texto Contexto Enferm*. 2008;17(4):758-64. <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-07072008000400018>.
31. Botelho LLR, Cunha CCA, Macedo M. O método da revisão integrativa nos estudos organizacionais. *GeS*. 2011;5(11):121-36. <http://dx.doi.org/10.21171/ges.v5i11.1220>.
32. Bi Y, Lv M, Song C, Xu W, Guan N, Yi W. AutoDietary: a wearable acoustic sensor system for food intake recognition in daily life. *IEEE Sens J*. 2016;16(3):806-16. <http://dx.doi.org/10.1109/JSEN.2015.2469095>.
33. Honda T, Baba T, Fujimoto K, Goto T, Nagao K, Harada M, et al. Characterization of swallowing sound: preliminary investigation of normal subjects. *PLoS One*. 2016;11(12):e0168187. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0168187>. PMID:27959902.
34. Kamiyanagi A, Sumita Y, Ino S, Chikai M, Nakane A, Tohara H, et al. Evaluation of swallowing ability using swallowing sounds in maxillectomy patients. *J Oral Rehabil*. 2018;45(2):126-31. <http://dx.doi.org/10.1111/joor.12593>. PMID:29197111.
35. Li Q, Minagi Y, Ono T, Chen Y, Hori K, Fujiwara S, et al. The biomechanical coordination during oropharyngeal swallowing: an evaluation with a non-invasive sensing system. *Sci Rep*. 2017;7(1):15165. <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-017-15243-6>. PMID:29123186.
36. Frakking TT, Chang AB, O'Grady KF, Yang J, David M, Weir KA. Acoustic and perceptual profiles of swallowing sounds in children: normative data for 4–36 months from a cross-sectional study cohort. *Dysphagia*. 2017;32(2):261-70. <http://dx.doi.org/10.1007/s00455-016-9755-1>. PMID:27830392.
37. Almeida ST, Ferlin EL, Maciel AC, Fagondes SC, Callegari-Jacques SM, Fornari F, et al. Acoustic signal of silent tracheal aspiration in children with oropharyngeal dysphagia. *Logoped Phoniatr Vocol*. 2018;43(4):169-74. <http://dx.doi.org/10.1080/14015439.2018.1487993>. PMID:30111199.
38. Kurihara T, Kaburagi T, Kumagai S, Matsumoto T. Development of swallowing-movement-sensing device and swallowing-state-estimation system. *IEEE Sens J*. 2019;19(9):3532-42. <http://dx.doi.org/10.1109/JSEN.2019.2894744>.
39. Miyagi S, Sugiyama S, Kozawa K, Moritani S, Sakamoto SI, Sakai O. Classifying dysphagic swallowing sounds with support vector machines. *Healthcare*. 2020;8(2):103. <http://dx.doi.org/10.3390/healthcare8020103>. PMID:32326267.
40. Dudik JM, Kurosu A, Coyle JL, Sejdić E. A statistical analysis of cervical auscultation signals from adults with unsafe airway protection. *J Neuroeng Rehabil*. 2016;13(1):7. <http://dx.doi.org/10.1186/s12984-015-0110-9>. PMID:26801236.
41. Movahedi F, Kurosu A, Coyle JL, Perera S, Sejdić E. A comparison between swallowing sounds and vibrations in patients with dysphagia. *Comput Methods Programs Biomed*. 2017;144:179-87. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cmpb.2017.03.009>. PMID:28495001.
42. Dudik JM, Kurosu A, Coyle JL, Sejdić E. Dysphagia and its effects on swallowing sounds and vibrations in adults. *Biomed Eng Online*. 2018;17(1):69. <http://dx.doi.org/10.1186/s12938-018-0501-9>. PMID:29855309.
43. Rebrion C, Zhang Z, Khalifa Y, Ramadan M, Kurosu A, Coyle JL, et al. High-resolution cervical auscultation signal features reflect vertical and horizontal displacements of the hyoid bone during swallowing. *IEEE J Transl Eng Health Med*. 2018;7:1800109. <http://dx.doi.org/10.1109/jthm.2018.2881468>. PMID:30701145.
44. Kurosu A, Coyle JL, Dudik JM, Sejdić E. Detection of swallow kinematic events from acoustic high-resolution cervical auscultation signals in patients with stroke. *Arch Phys Med Rehabil*. 2019;100(3):501-8. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apmr.2018.05.038>. PMID:30071198.
45. Donohue C, Mao S, Sejdić E, Coyle JL. Tracking hyoid bone displacement during swallowing without videofluoroscopy using machine learning of vibratory signals. *Dysphagia*. 2021 Apr;36(2):259-69. <http://dx.doi.org/10.1007/s00455-020-10124-z>. PMID:32419103.
46. Donohue C, Khalifa Y, Perera S, Sejdić E, Coyle JL. A preliminary investigation of whether hrca signals can differentiate between swallows from healthy people and swallows from people with neurodegenerative diseases. *Dysphagia*. 2021 Ago;36(4):635-43. <http://dx.doi.org/10.1007/s00455-020-10177-0>. PMID:32889627.
47. Kamiyanagi A, Sumita Y, Chikai M, Kimura K, Seki Y, Ino S, et al. Evaluation of swallowing sound using a throat microphone with an AE sensor in patients wearing palatal augmentation prosthesis. *J*

- Adv Comput Intell Informar. 2017;21(3):573-80. <http://dx.doi.org/10.20965/jaciii.2017.p0573>.
48. Taveira KVM, Santos RS, Leão BLC, Stechman J No, Pernambuco L, Silva LKD, et al. Diagnostic validity of methods for assessment of swallowing sounds: a systematic review. *Rev Bras Otorrinolaringol*. 2018;84(5):638-52. <http://dx.doi.org/10.1016/j.bjorl.2017.12.008>. PMID:29456200.
  49. Choi Y, Kim M, Lee B, Yang X, Kim J, Kwon D, et al. Development of an ultrasonic doppler sensor-based swallowing monitoring and assessment system. *Sensors*. 2020;20(16):4529. <http://dx.doi.org/10.3390/s20164529>. PMID:32823533.
  50. Cichero JA, Murdoch BE. Detection of swallowing sounds: methodology revisited. *Dysphagia*. 2002;17(1):40-9. <http://dx.doi.org/10.1007/s00455-001-0100-x>. PMID:11824392.



**Apêndice A.** Estratégia de busca nas bases de dados

Scopus	(TITLE-ABS-KEY (deglutition) OR TITLE-ABS-KEY (deglutitions) OR TITLE-ABS-KEY (swallowing) OR TITLE-ABS-KEY (swallowings) OR TITLE-ABS-KEY (swallow) OR TITLE-ABS-KEY (swallows) AND TITLE-ABS-KEY ("acoustic analysis") OR TITLE-ABS-KEY ("acoustical analysis") OR TITLE-ABS-KEY (auscultation) OR TITLE-ABS-KEY ("cervical auscultation") OR TITLE-ABS-KEY ("swallowing sounds") OR TITLE-ABS-KEY ("swallow sounds") OR TITLE-ABS-KEY ("signal processing") OR TITLE-ABS-KEY (acoustics) OR TITLE-ABS-KEY (acoustic) OR TITLE-ABS-KEY (software) AND TITLE-ABS-KEY (accelerometry) OR TITLE-ABS-KEY ("swallowing accelerometry signals") OR TITLE-ABS-KEY (stethoscope) OR TITLE-ABS-KEY ("digital stethoscope") OR TITLE-ABS-KEY ("electronic stethoscope") OR TITLE-ABS-KEY ("doppler effect") OR TITLE-ABS-KEY ("sonar doppler") OR TITLE-ABS-KEY (microphone))
MEDLINE/ Pubmed	((("deglutition"[Title/Abstract] OR "deglutitions"[Title/Abstract] OR "swallowing"[Title/Abstract] OR "swallowings"[Title/Abstract] OR "swallow"[Title/Abstract] OR "swallows"[Title/Abstract]) AND ("acoustic analysis"[Title/Abstract] OR "acoustical analysis"[Title/Abstract] OR "auscultation"[Title/Abstract] OR "cervical auscultation"[Title/Abstract] OR "swallowing sounds"[Title/Abstract] OR "swallow sounds"[Title/Abstract] OR "signal processing"[Title/Abstract] OR "acoustics"[Title/Abstract] OR "acoustic"[Title/Abstract] OR "software"[Title/Abstract])) AND ("accelerometry"[Title/Abstract] OR "swallowing accelerometry signals"[Title/Abstract] OR "stethoscope"[Title/Abstract] OR "digital stethoscope"[Title/Abstract] OR "electronic stethoscope"[Title/Abstract] OR "doppler effect"[Title/Abstract] OR "sonar doppler"[Title/Abstract] OR "microphone"[Title/Abstract]))
Web of Science	TS=(deglutition OR deglutitions OR swallowing OR swallowings OR swallow OR swallows) AND TS=(acoustic analysis OR acoustical analysis OR auscultation OR cervical auscultation OR swallowing sounds OR swallow sounds OR signal processing OR acoustics OR acoustic OR software) AND TS=(accelerometry OR swallowing accelerometry signals OR stethoscope OR digital stethoscope OR electronic stethoscope OR doppler effect OR sonar doppler OR microphone)