

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE - UERN  
FACULDADE DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS – FANAT  
DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA – DI  
CURSO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

EXLLEY CLEMENTE DOS SANTOS

**SISTEMA *FUZZY* PARA DETECÇÃO DE OBSTRUÇÕES NAS VIAS AÉREAS  
DURANTE O PROCESSO DE INGESTÃO DE ALIMENTOS**

MOSSORÓ - RN

2019

EXLLEY CLEMENTE DOS SANTOS

**SISTEMA *FUZZY* PARA DETECÇÃO DE OBSTRUÇÕES NAS VIAS AÉREAS  
DURANTE O PROCESSO DE INGESTÃO DE ALIMENTOS**

Monografia apresentada à Universidade do Estado do Rio Grande do Norte como um dos pré-requisitos para obtenção do grau de Bacharel em Ciência da Computação.

Orientadora: D.Sc. Círcia Raquel Maia Leite.  
Coorientadora: Cynthia Moreira Maia.

MOSSORÓ - RN

2019

© Todos os direitos estão reservados a Universidade do Estado do Rio Grande do Norte. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do(a) autor(a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu(a) respectivo(a) autor(a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

**Catálogo da Publicação na Fonte.**  
**Universidade do Estado do Rio Grande do Norte.**

S237s Santos, Exlley Clemente dos  
SISTEMA FUZZY PARA DETECÇÃO DE  
OBSTRUÇÕES NAS VIAS AÉREAS DURANTE O  
PROCESSO DE INGESTÃO DE ALIMENTOS. / Exlley  
Clemente dos Santos. - Universidade do Estado do Rio  
Grande do Norte, 2019.  
61p.

Orientador(a): Profa. Dra. Cícilia Raquel Maia Leite.  
Coorientador(a): Profa. M<sup>a</sup>. Cynthia Moreira Maia.  
Monografia (Graduação em Ciência da Computação).  
Universidade do Estado do Rio Grande do Norte.

1. Disfagia. 2. Ingestão de Alimentos. 3.  
Monitoramento. 4. M-Health. 5. Deglutição. I. Leite, Cícilia  
Raquel Maia. II. Universidade do Estado do Rio Grande do  
Norte. III. Título.

EXLLEY CLEMENTE DOS SANTOS

SISTEMA INTELIGENTE FUZZY PARA DETECÇÃO DE OBSTRUÇÕES NAS VIAS AÉREAS DURANTE O PROCESSO DE INGESTÃO DE ALIMENTOS

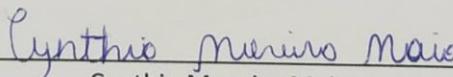
Monografia apresentada como pré-requisito para a obtenção do título de Bacharel em Ciência da Computação da Universidade do Estado do Rio Grande do Norte – UERN, submetida à aprovação da banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Aprovada em: 09/05/2019

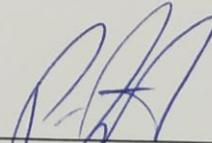
Banca Examinadora



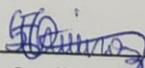
Prof<sup>a</sup>. Dra. Círcia Raquel Maia Leite  
Universidade do Estado do Rio Grande do Norte - UERN



Cynthia Moreira Maia  
Universidade do Estado do Rio Grande do Norte - UERN



Prof. Dr. Pedro Fernandes Ribeiro Neto  
Universidade do Estado do Rio Grande do Norte - UERN



Ma. Suellem Stephanie Fernandes Queiroz  
Universidade do Estado do Rio Grande do Norte - UERN

*Aos meus pais e irmãos*

# Agradecimentos

Finalizo este trabalho coberto de gratidão à Deus, detentor maior de todas as forças do universo, por ter me concedido força e motivação necessária a conclusão desse curso.

À minha família, em especial aos meus pais, Antônia Maria dos Santos e Expedito Clemente de Oliveira, que, como fonte maior de motivação, foram essenciais durante todo o curso. Amo vocês.

À Júnior Moura, ente fundamental para a conclusão deste trabalho. Seu ombro, suas palavras e sua presença se tornaram essenciais a minha evolução acadêmica e pessoal.

Devo agradecimento especial à meus amigos Victor Silva, Sadrak Moraes e Luiz Carlos, companheiros nos trabalhos acadêmicos, com quem dividi bons momentos durante o curso, e a Vitória Marinho, irmã que conquistei no curso de Gestão Ambiental da UERN. Sem esquecer dos grandes amigos que fiz dentro do Programa de Educação Tutorial em Ciência da Computação (PETCC) e os amigos do Laboratório de Engenharia de Software (LES).

Agradeço profundamente os membros da banca pela disponibilidade, em especial a professora Cicília Raquel Maia Leite, minha orientadora, tanto pela sua fundamental contribuição no desenvolvimento desta monografia quanto aos três anos de orientação como bolsista de Iniciação Científica no LES, e a Cynthia Moreira Maia, coorientadora deste trabalho. Com vocês obtive muito aprendizado.

O meu muito obrigado aos professores do Departamento de Informática da UERN, por todas as suas colaborações acadêmicas e profissionais neste período de graduação e a todos os meus mestres da vida, com quem tanto aprendi.

Obrigado ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Liga Mossoroense de Estudos e Combate ao Câncer (LMECC), pela contribuição financeira no desenvolvimento desta pesquisa.

À todos que direta ou indiretamente contribuíram de alguma forma para a minha evolução. Meu muito Obrigado!

*“Foi o tempo que dedicaste à tua rosa que a fez tão importante...”*  
(O Pequeno Príncipe - Antoine de Saint-Exupéry).

# Resumo

É notável a inserção das Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) na sociedade, e no setor da saúde estas tecnologias têm sido alvos de diversas pesquisas. No que diz respeito à ingestão de alimentos, a disfagia ou dificuldade na deglutição de alimentos, é um sintoma decorrente de outras doenças que considerando sua gravidade, necessita de um acompanhamento, a fim de averiguar a evolução do estado de saúde do paciente. Nesse contexto, as TICs podem ser evidenciadas, por exemplo, no desenvolvimento de dispositivos e/ou sistemas de monitoramento contínuo, que também podem ser utilizados para auxílio à tomada de decisão médica, nos quais são comumente utilizadas técnicas de Inteligência Artificial para análise de dados coletados, e dentre essas técnicas, pode-se destacar a lógica *fuzzy*. Diante do contexto, o objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de um sistema inteligente baseado em lógica *fuzzy* para detecção de obstruções nas vias aéreas durante o processo de ingestão de alimentos. Esse sistema é composto de: i) Equipamento Médico Assistencial (EMA) não invasivo, que faz a captura dos dados de som e movimento gerados durante esse processo; ii) Aplicativo para dispositivo móvel utilizado pelo paciente no controle sobre a gravação dos dados; e iii) uma Interface Web de uso do profissional de saúde, para verificação de um histórico alimentar do paciente. O sistema foi validado, aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) No. Parecer 2.332.026, em ambiente real com quatro voluntários com doenças relacionadas à dificuldade de deglutição, e verificou-se que o sistema inferiu satisfatoriamente, sendo capaz de identificar obstruções durante a realização do experimento.

**Palavras-chave:** Disfagia, Ingestão de Alimentos, Deglutição, Monitoramento, *M-Health*.

# Abstract

The insertion of Information and Communication Technologies (ICTs) in society is notable, and in the health sector these technologies have been the targets of several researches. With regard to food intake, dysphagia or difficulty in swallowing food, is a symptom arising from other diseases that considering its severity, needs to be monitored in order to ascertain the evolution of the patient's health status. In this context, ICTs can be evidenced, for example, in the development of devices and / or continuous monitoring systems, which can also be used to aid medical decision making, in which Artificial Intelligence techniques are commonly used for data analysis collected, and among these techniques, it is possible to highlight the fuzzy logic. In view of the context, the objective of this work is the development of an intelligent system based on fuzzy logic to detect obstructions in the airways during the food intake process. This system is composed of: i) Non-invasive medical care equipment, which makes the capture of sound and movement data generated during this process; ii) Mobile application used by the patient to control the recording of data; and iii) a Web Interface for the use of the health professional, to verify a patient's food history. The system was validated, approved by the Research Ethics Committee (CEP) No. Opinion 2,332,026, in real environment with four volunteers with diseases related to the difficulty of swallowing, and it was verified that the system inferred satisfactorily, being able to identify obstructions during the accomplishment of the experiment.

**Keywords:** Dysphagia, Food Intake, Deglutition, Monitoring, M-Health.

# Lista de ilustrações

Figura 1 – Componentes de Um Sistema Lógico <i>Fuzzy</i> . . . . .	22
Figura 2 – Diagrama da Etapa de Inferência . . . . .	24
Figura 3 – Mecanismos Fisiológicos do Processo de Deglutição . . . . .	26
Figura 4 – Representação MVC do Sistema. . . . .	32
Figura 5 – Visão Geral do Sistema. . . . .	33
Figura 6 – Telas do Aplicativo Móvel. . . . .	34
Figura 7 – Estrutura Básica de Um Arquivo FLC . . . . .	35
Figura 8 – Interface Inicial do Sistema Web. . . . .	37
Figura 9 – Diagrama de Casos de Uso do Sistema. . . . .	39
Figura 10 – Diagrama de Sequência da Gravação dos Dados. . . . .	42
Figura 11 – Diagrama de Sequência da Busca por Informações . . . . .	42
Figura 12 – Diagrama de Classes da API para Execução do FCL. . . . .	43
Figura 13 – Diagrama Componentes do Sistema . . . . .	43
Figura 14 – Interface Inicial do MATLAB. . . . .	44
Figura 15 – Listagem de Pacientes na Interface Web . . . . .	48
Figura 16 – Busca de Pacientes na Interface Web . . . . .	49
Figura 17 – Gráficos dos Dados Gerados pela Captura no Paciente 1 . . . . .	50
Figura 18 – Gráficos dos Dados Gerados pela Captura no Paciente 2 . . . . .	50
Figura 19 – Gráficos dos Dados Gerados pela Captura no Paciente 3 . . . . .	51
Figura 20 – Gráficos dos Dados Gerados pela Captura no Paciente 4 . . . . .	51

# Lista de tabelas

Tabela 1 – Os Mecanismos Fisiológicos Envolvidos nos Estágios da Deglutição, por Fase. . . . .	27
Tabela 2 – Comparação dos Trabalhos Relacionados . . . . .	29
Tabela 3 – Comparação das Funcionalidades dos Sistemas . . . . .	31
Tabela 4 – Usuários (Atores) do Sistema . . . . .	38
Tabela 5 – Requisitos Funcionais do Profissional de Saúde no Sistema . . . . .	38
Tabela 6 – Requisitos Funcionais do Paciente no Sistema . . . . .	38
Tabela 7 – Requisitos Não Funcionais do Sistema . . . . .	39
Tabela 8 – Especificação de Casos de Uso do Sistema (CDU). . . . .	40
Tabela 9 – Descrição dos Voluntários com Patologias Relacionadas à Disfagia . . .	46

# Lista de códigos

Código 1 – Exemplificação API Java . . . . .	44
--	----

# Lista de abreviaturas e siglas

API	<i>Application Programming Interface</i>
AVE	Acidente Vascular Encefálico
CEP	Comitê de Ética em Pesquisa
COHM	Centro de Oncologia e Hematologia de Mossoró
CS	Conjunto de Saída
CSV	<i>Comma-separated Values</i>
EJS	<i>Embedded JavaScript</i>
EMA	Equipamento Médico Assistencial
FLC	<i>Fuzzy Control Language</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
IA	Inteligência Artificial
ID	Número de Identificação
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
LES	Laboratório de Engenharia de <i>Software</i>
LMECC	Liga Mossoroense de Estudos e Combate ao Câncer
MF	<i>Membership Functions</i>
MVC	<i>Model-View-Control</i>
M-Health	<i>Mobile Health</i>
OMS	Organização Mundial de Saúde
OPF	Optimum Path Forest
PETCC	Programa de Educação Tutorial de Ciência da Computação
RNA	Redes Neurais Artificiais
SI	Sistemas Inteligentes

SMIA	Sistema De Monitoramento Contínuo Da Ingestão De Alimentos
SMS	<i>Short Messaging Service</i>
SVM	Máquinas de Vetores de Suporte
SQL	<i>Structured Query Language</i>
TIC	Tecnologia da Informação e Comunicação
TCLE	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido
UERN	Universidade do Estado do Rio Grande do Norte
WAV	<i>Waveform Audio File Format</i>

# Sumário

	<b>Lista de códigos</b> . . . . .	<b>11</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> . . . . .	<b>16</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> . . . . .	<b>19</b>
<b>2.1</b>	<b>Telemedicina</b> . . . . .	<b>19</b>
<b>2.2</b>	<b>Inteligência Artificial</b> . . . . .	<b>21</b>
2.2.1	Lógica <i>Fuzzy</i> . . . . .	21
2.2.1.1	Fase de Fuzzificação . . . . .	22
2.2.1.2	Base de Regras <i>Fuzzy</i> . . . . .	23
2.2.1.3	Fase de Inferência . . . . .	23
2.2.1.4	Fase de Defuzzificação . . . . .	24
<b>2.3</b>	<b>Ingestão de Alimentos</b> . . . . .	<b>25</b>
2.3.1	Disfagia . . . . .	26
2.3.2	Trabalhos Relacionados . . . . .	27
<b>3</b>	<b>SISTEMA FUZZY PARA DETECÇÃO DE OBSTRUÇÕES NA VIAS AÉREAS</b> . . . . .	<b>30</b>
<b>3.1</b>	<b>Evolução do Sistema</b> . . . . .	<b>30</b>
<b>3.2</b>	<b>Visão geral</b> . . . . .	<b>32</b>
3.2.1	Captura dos dados . . . . .	33
3.2.2	Pré-processamento . . . . .	34
3.2.3	Análise dos dados . . . . .	35
3.2.4	Visualização das informações . . . . .	37
<b>3.3</b>	<b>Especificação</b> . . . . .	<b>37</b>
<b>3.4</b>	<b>Implementação</b> . . . . .	<b>44</b>
3.4.1	Ferramentas utilizadas . . . . .	44
<b>4</b>	<b>ESTUDO DE CASO: APLICAÇÃO DO SISTEMA EM AMBIENTE REAL</b> . . . . .	<b>46</b>
<b>4.1</b>	<b>Contextualização do Experimento</b> . . . . .	<b>46</b>
<b>4.2</b>	<b>Validação</b> . . . . .	<b>47</b>
4.2.1	Ambiente de validação . . . . .	47
4.2.1.1	Captura dos dados . . . . .	47
4.2.1.2	Pré-processamento e Análise . . . . .	48
4.2.1.3	Visualização das Informações . . . . .	48

4.3	Resultados e Discussão . . . . .	49
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS . . . . .	53
	REFERÊNCIAS . . . . .	55
	APÊNDICES	60
	APÊNDICE A – PRODUÇÃO CIENTÍFICA . . . . .	61

# 1 Introdução

A inserção das Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) nos mais diversos setores da sociedade é evidente. Dentre eles, o setor da saúde é um dos que têm se apropriado cada vez mais dos benefícios que essas tecnologias têm a oferecer, como por exemplo, fluxo rápido de informações, grande capacidade de processamento e armazenamento de dados, mobilidade e rapidez na aquisição de informações e melhora do planejamento e coordenação de equipes de saúde (SCHMEIL, 2013).

Com a popularização de dispositivos móveis com cada vez mais funcionalidades, a utilização das TICs na área da saúde pode tornar mais fácil ao profissional de saúde algumas atividades relacionadas ao cuidado com o paciente, como por exemplo, o monitoramento de pacientes ou diagnósticos mais detalhados (DIAS et al., 2016; NACHABE et al., 2015).

A utilização de dispositivos móveis na saúde evidencia a *Mobile Health* (M-Health), caracterizada pela realização da prática médica através da utilização dos dispositivos móveis (WHO, 2011). Diante desse cenário, dispositivos como *smartphones*, gravadores de som e sensores (tais como sensores de movimento, temperatura e infra-vermelho) são utilizados com o objetivo de capturar dados dos pacientes, para que estes possam ser posteriormente analisados por algum sistema computacional.

Diante da análise desses dados, principalmente tratando-se de sistemas aplicados à saúde, são buscadas conclusões exatas e fundamentadas. Para que isso torne-se possível, é comum a utilização de técnicas de Inteligência Artificial (IA), que por sua vez, visa o estudo das computações que tornam possível perceber, raciocinar e agir (WINSTON, 1992).

Um dos problemas de saúde que necessitam de monitoramento é a disfagia, que pode ser caracterizada pela dificuldade para iniciar uma deglutição, transição do bolo alimentar ou líquido para o esôfago, tosses ou engasgos induzidos pela refeição, ou a "prisão" da comida logo após a ingestão (DAWN et al., 2004). Sintomas que podem gerar consequências graves causadas pela interrupção da alimentação, podendo ocasionar danos relacionados ao estado nutricional, aspectos psicológicos, sociais e, em alguns casos, levar o paciente a óbito (CRARY, 1995) (CARVALHO-SILVA, 2015).

A disfagia é um problema comum, 1 (uma) em cada 17 (dezesete) pessoas irá desenvolver alguma forma de disfagia durante a vida. Além disso, essa condição afeta entre 40 e 70% dos pacientes decorrentes de Acidente Vascular Encefálico (AVE), entre 60 e 80% dos pacientes com doenças neurodegenerativas, 13% dos adultos e mais de 51% dos idosos com mais de 65 anos. Cerca de 95% dos pacientes com a doença de Parkinson e entre 60 e 75% dos pacientes submetidos à radioterapia para câncer de cabeça e pescoço também

apresentam disfagia (MALAGELADA et al., 2014; TURLEY; COHEN, 2009; LIN et al., 2002; PADOVANI et al., 2007).

É evidente que o paciente com disfagia necessita de uma maior atenção. O monitoramento diário dos pacientes com esta condição pode auxiliar na percepção da progressão do seu estado, e, a partir daí, auxiliar na tomada de decisão em relação a sua reabilitação (MOREIRA, 2015). Porém, atualmente existe uma grande lacuna no conhecimento com relação ao tratamento da disfagia (KREKELER et al., 2018). Desse modo, percebeu-se a oportunidade de criar um sistema capaz de identificar obstruções ocasionadas pela dificuldade no processo de ingestão de alimento, ou disfagia.

Diante do contexto, o objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de um sistema inteligente baseado em lógica *fuzzy* para detecção de obstruções (tosses ou engasgos) nas vias aéreas durante o processo de ingestão de alimentos através da análise dos sinais sonoros e de movimentos gerados durante este processo. Esse sistema é composto de: i) um EMA não invasivo, que faz a captura dos dados de som e movimento gerados durante esse processo; ii) um aplicativo para dispositivo móvel utilizado pelo paciente no controle sobre a gravação dos dados; e iii) uma Interface Web de uso do profissional de saúde, para verificação de um histórico alimentar do paciente. A fim de oferecer a partir de um monitoramento remoto do paciente, informações detalhadas sobre a sua alimentação e auxiliar as equipes médicas no processo de monitoramento dos mesmos.

Dentre os objetivos específicos levantados para o procedimento do trabalho e alcance do objetivo geral, estão:

- Identificar o estado da arte acerca dos assuntos correlatos ao tema da pesquisa através de revisão da literatura;
- Identificar as técnicas de IA para aplicação ao sistema proposto;
- Especificar e modelar a arquitetura do sistema proposto;
- Implementar o algoritmo para identificação de obstruções;
- Aplicar e Validar o sistema em ambiente real;
- Verificar a aplicabilidade do sistema através dos resultados obtidos na validação.

Para o alcance desses objetivos, a metodologia de desenvolvimento do sistema se deu na seguinte ordem:

- Revisão bibliográfica de literatura: uma revisão de literatura busca levantar informações sobre determinada área. Foram realizadas buscas de informações que oferecessem uma fundamentação teórica concreta dos temas relacionados à pesquisa, tais como:

sistemas de monitoramento de pacientes, técnicas de IA e disfagia. As buscas para revisão bibliográfica de literatura foram feitas em bases científicas de dados, tais como: *IEEE Xplore Digital Library*, *Science Direct*, *Scopus*, dentre outras;

- Levantamento de requisitos: atividade realizada a fim de levantar as características e funções do sistema proposto em Moreira (2015) e Barbalho (2018), bem como as características do sistema para identificação de obstruções. Nesta etapa, também é definida a estrutura do sistema e a especificação das suas funcionalidades;
- Prototipação: teve o objetivo de projetar e implementar materiais de pesquisa a fim de alcançar fundamentação e exatidão nos resultados apresentados pelo sistema desenvolvido. Foram elaborados modelos estruturais da interface, bem como protótipos de algoritmos do sistema;
- Validação: visou a aplicação de um estudo de caso, através da validação do sistema proposto em um ambiente real. A validação aconteceu de forma prática sobre quatro voluntários disfágicos, onde foram analisados os dados obtidos nesses testes.

Dado o supracitado, este trabalho está dividido da seguinte maneira:

- Capítulo 2: apresenta um referencial teórico sobre os temas de pesquisas correlacionados à este trabalho, tais como: Telemedicina e *M-Health*; Inteligência Artificial e Lógica *Fuzzy*; Ingestão de Alimentos e Disfagia;
- Capítulo 3: apresenta o trabalho desenvolvido e suas especificações;
- Capítulo 4: apresenta-se uma discussão sobre o caso de uso da aplicação do objeto proposto em ambiente real;
- Capítulo 5: são apresentadas as discussões finais e perspectivas futuras.

## 2 Referencial Teórico

Este capítulo destina-se à explanação do referencial teórico no qual o trabalho está embasado, considerando sua importância para concepção, investigação e interpretação dos conceitos fundamentais. Assim, para melhor entendimento, esta seção está subdividida da seguinte maneira:

**2.1 - Telemedicina:** faz uma abordagem sobre a Telemedicina com ênfase em *M-Health*, área de atuação deste trabalho;

**2.2 - Inteligência Artificial:** apresenta conceitos básicos de Inteligência Artificial, em especial sistemas baseados em Lógica *Fuzzy*, objeto de estudo desta monografia;

**2.3 - Ingestão de Alimentos:** uma discussão acerca dos conceitos relacionados ao processo de ingestão de alimentos e a disfagia, problemática deste trabalho.

### 2.1 Telemedicina

As TICs estão cada vez mais imersas nos diversos setores da sociedade, e no que diz respeito ao setor da saúde, o uso dessas tecnologias podem caracterizar a Telemedicina, que se compreende como o uso de tecnologias de comunicação para possibilitar cuidados à saúde nas situações em que a distância é um fator crítico (WHO, 2010; ATA, 2007).

Bhattacharyya (2017) afirma que os quatro elementos seguintes são relevantes para a telemedicina: o fornecimento de suporte clínico; a superação de barreiras geográficas ao conectar usuários que não estão no mesmo local físico; a utilização de vários tipos de TIC, deixando desde os serviços básicos até serviços mais complexos de saúde mais eficientes; e o objetivo de melhorar os resultados de saúde.

A Telemedicina proporciona maior facilidade na prática de serviços básicos e/ou essenciais à saúde, tais como, diagnósticos, manuseio clínico, vigilância, e monitoramento de pacientes (MALDONADO; MARQUES; CRUZ, 2016), uma vez que agrega qualidade, eficiência e velocidade no desenvolvimento destas atividades.

A evolução das tecnologias móveis e dos telefones inteligentes (*smartphones*) pode contribuir de forma expressiva para o desenvolvimento da *M-Health*. Segundo Valenza et al. (2014), *M-Health* pode ser caracterizada pela utilização de dispositivos móveis (*Smartphones, tablets, etc.*) para o acompanhamento do tratamento e/ou recuperação de pacientes, diagnósticos, divulgação de cuidados e/ou vigilância relacionada à saúde.

O terceiro relatório global sobre saúde em linha da Organização Mundial de Saúde (OMS) de 2016, revelou que mais de 90% dos países membros possuíam pelo menos uma

iniciativa de saúde móvel (WHO, 2016). Isso ocorre devido a possibilidade que o *M-Health* tem de oferecer serviços médicos em locais de difícil acesso, permitindo o acompanhamento diário de pacientes em tratamentos (EYSENBACH; CONSORT-EHEALTH, 2011) uma vez que seu uso engloba desde Serviço de Mensagens Curtas, do inglês, *Short Messaging Service* (SMS), até serviços mais avançados como Sistemas de Posicionamento Global, do inglês, *Global Positioning System* (GPS), redes de sensores ou transferência de dados pela rede.

A evolução dos dispositivos móveis proporciona aos seus usuários acesso a diversos serviços, independentemente de sua localização física com a ideia de acesso as informações a qualquer hora e em qualquer lugar (FIGUEIREDO; NAKAMURA, 2003). Segundo Freng et al. (2011), a população de países que possuem aparelhos celulares quase onipresentes tende a aceitar aplicações inovadoras mais facilmente do que países com baixo índice de uso desses aparelhos celulares.

A grande capacidade de processamento, mobilidade e comunicação sem fio que é evidenciada nos dispositivos móveis atuais, proporciona o desenvolvimento de várias aplicações de *M-Health* e, conseqüentemente, a expansão dos serviços de saúde à pacientes que residem em locais de difícil acesso e/ou em locais com ausência de atendimento médico (BARBALHO, 2018). São alguns exemplos de aplicações (FAVA et al., 2014)(MEDEIROS, 2015):

- Sistemas para consultas e reservas: este tipo de aplicação, é utilizada pelas equipes de saúde para ajudar em consultas, e/ou, avisar sobre o estado da reserva de medicamentos nos postos de saúde. Aplicações *M-Health* tornaria, nesse caso, a comunicação mais eficiente e rapidamente efetiva;
- Diagnóstico remoto: aplicações de *M-Health* podem oferecer à equipe médica algoritmos que, durante visitas aos pacientes, os auxiliem na tomada de decisão para diagnósticos e tratamentos;
- Campanhas de divulgação ou aviso: são utilizados com frequência em países desenvolvidos pelas organizações de saúde para ajudar na propagação de mensagens relacionadas à saúde;
- Sistemas de monitoramento remoto: esse tipo de aplicação tem o objetivo de acompanhar o estado e evolução de doenças em pacientes. Essas aplicações geralmente são desenvolvidas para um fim específico, que também podem funcionar baseadas em sensores, que podem ou não fazer parte do *smartphone*, mas que trabalham em conjunto com o dispositivo móvel.

Aplicações de *M-Health* causam impactos positivos em vários aspectos na saúde do paciente, tais como o cumprimento do regime de tratamento, a sensibilização da população

e no acompanhamento da doença (CONSULTING, 2009). Porém, algumas barreiras ainda são encontradas para sua implantação integral, uma vez que a infraestrutura de equipamentos utilizados para o armazenamento e transmissão de dados podem não garantir ao paciente total privacidade, confidencialidade e impedimento de atitudes maliciosas (FENG, 2011).

## 2.2 Inteligência Artificial

Atualmente, é possível o desenvolvimento de Sistemas Inteligentes (SI) que utilizam informações extraídas de um contexto específico para solucionar determinados problemas. Estes sistemas geralmente utilizam técnicas de IA, que por sua vez, têm o objetivo de expor resultados e avaliações semelhantes ao raciocínio humano (RUSSELL; NORVIG, 2003).

Diversos sistemas são desenvolvidos baseados em técnicas de IA para desempenhar tarefas capazes de auxiliar os seres humanos em suas atividades do cotidiano com definição de um conjunto de regras sobre determinado domínio específico (RUSSELL; NORVIG, 2003). Essas regras são utilizadas para inferir sobre determinado problema, pode-se destacar o desenvolvimento de sistemas específicos direcionados para a prevenção, diagnóstico, tratamento e/ou monitoramento de uma doença, com o uso de técnicas como: Máquina de Vetores de Suporte (SVM) (STEINWART I.; CHRISTMANN, 2008) Redes Neurais Artificiais (RNA) (HAYKIN, 2007) e Lógica *Fuzzy* (SHAW; SIMÕES, 1999).

Sizilio (2012) afirma que os sistemas computacionais que aplicam essas regras inteligentes costumeiramente são sistemas de: classificação, apoio à decisão, planejamento, reconhecimento de padrões, modelagem, previsão, otimização, controle e automação industrial, de síntese de sistemas e mineração de dados.

### 2.2.1 Lógica *Fuzzy*

A teoria básica dos conjuntos *Fuzzy* e da lógica *Fuzzy* foi apresentada pela primeira vez por Lotfi A. Zadeh em 1965 (ZADEH, 1965), e serviu de base para a elaboração de técnicas adequadas à representação e o processamento de informações incertas e imprecisas. Segundo Cox (1994), o que diferencia a lógica *Fuzzy* da lógica booleana é a capacidade desta de se aproximar do mundo real no qual não existe somente respostas extremas.

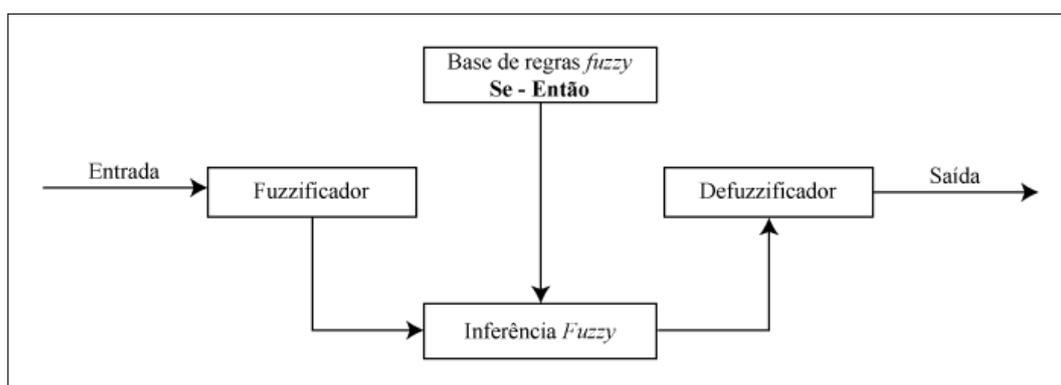
Dentre as vantagens da lógica *Fuzzy* em relação à lógica tradicional pode-se citar (PEREIRA, 2010): flexibilidade, tolerância com dados imprecisos, possibilidade de modelar as funções não lineares, possibilidade de ser construída com base na experiência de especialistas, possibilidade de ser integrada às técnicas convencionais de controle, além de ser baseada na linguagem natural, que é pilar principal da comunicação humana.

Enquanto a lógica clássica só admite valores (verdadeiro e falso), a lógica *fuzzy* flexibiliza entre  $[0, 1]$  admitindo variáveis incertas e vagas, a fim de facilitar o trabalho e a manipulação dos computadores, de modo que a implementação de um projeto de sistema *fuzzy* possa ser reduzida a um ponto em que problemas anteriormente intratáveis passam a ter possíveis soluções (SANTOS, 2015a).

Os sistemas baseados em lógica *fuzzy* ou Sistemas *Fuzzy*, usam um mecanismo de raciocínio baseado no raciocínio aproximado que possui grande habilidade para expressar a ambiguidade e subjetividade presentes no raciocínio humano (PEDRYCZ; GOMIDE, 1998).

De acordo com Wang (1996) um sistema lógico *fuzzy* é composto por quatro componentes, como é apresentado na Figura 1.

Figura 1 – Componentes de Um Sistema Lógico *Fuzzy*



Fonte – Adaptado de Cherry, Alem Junior e Silva (2011).

Cada um desses quatro componentes serão discutidos de forma mais detalhada nas subseções subsequentes com base em Sizilio (2012).

### 2.2.1.1 Fase de Fuzzificação

Essa fase consiste na primeira etapa, onde é feita análise do problema e os dados de entrada do sistema são transformados em variáveis linguísticas. Após isso, os dados de entrada também são convertidos em um grau de pertinência a conjuntos *fuzzy* por meio de funções de pertinência (Membership Functions - MF) ajustadas sobre o universo de discurso de modo a cobri-lo totalmente. Pode-se definir então o estágio de fuzzificação como o mapeamento de dados precisos para os conjuntos *fuzzy* (de entrada).

Martins (2011) apresenta dois métodos de construção de funções de pertinência: o método direto, cujo o especialista é quem informa todos os dados da função de pertinência de maneira a defini-las explicitamente; e o método indireto, cujo o especialista fornece

informações mais simples, como a comparação entre os elementos dentro de um determinado conjunto. Desse modo, a atuação de um especialista na área de aplicação a ser modelada é de fundamental importância para colaborar na construção das funções de pertinência para a descrição das entradas (SIZILIO, 2012).

#### 2.2.1.2 Base de Regras *Fuzzy*

A base de regras, juntamente com a máquina de inferência formam o que pode ser considerado como o núcleo do sistema lógico baseados em lógica *fuzzy* (SIZILIO, 2012) uma vez que é neles que são armazenadas as variáveis e suas classificações linguísticas.

Essas regras podem ser formuladas a partir de dois métodos: i) do conhecimento de especialistas, que, no caso de aplicações médicas, deve ser um médico ou outro profissional de saúde que possua ligação com o problema, com conhecimento teórico e empírico sobre o mesmo; ou ii) a partir do conhecimento extraído de dados numéricos ou históricos.

Essas regras formuladas determinam uma ação a ser tomada com base em uma determinada entrada. Assim como uma afirmação clássica, uma regra *fuzzy* é uma estrutura do tipo:

**SE** <antecedente> **ENTÃO** <consequente>

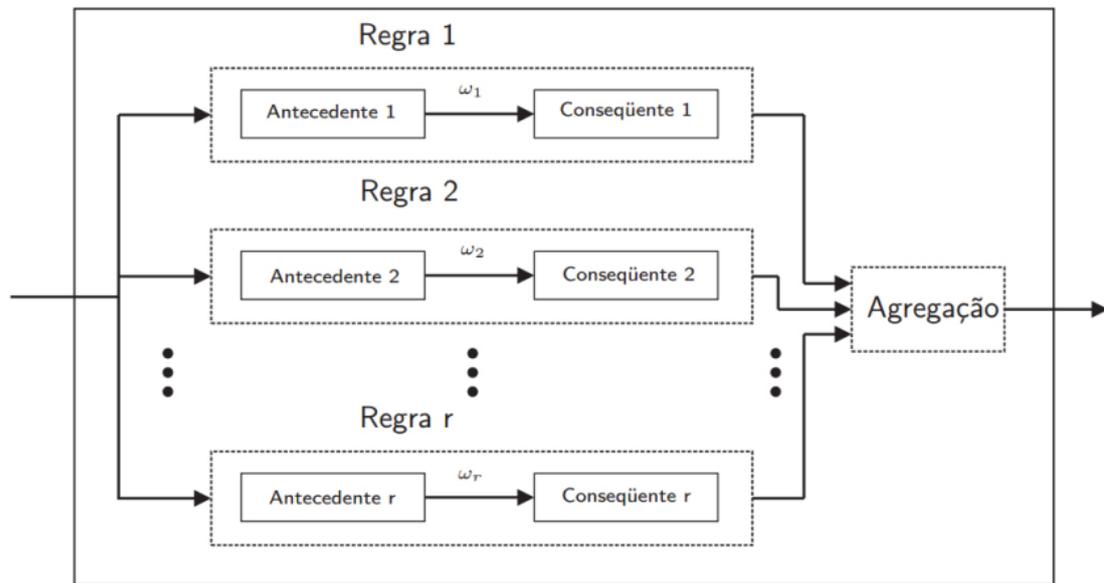
Os antecedentes correspondem às entradas do sistema, e o consequente se refere à ação (saída) tomada pelo sistema com base em operadores lógicos.

Evidentemente, a quantidade de regras de um sistema vai ser dependente do número de entradas e saídas do sistema. Dessa forma, é necessário que haja um número de regras que cubra todas as combinações de entradas e saídas possíveis, de modo a evitar contradições e inconsistências.

#### 2.2.1.3 Fase de Inferência

Esse componente é responsável por aplicar uma estrutura de raciocínio *fuzzy* através da tradução matemática de cada proposição por meio de técnicas de raciocínio aproximado (SANTOS, 2015). Também são utilizados de operadores lógicos para definir a relação *fuzzy* que modela a base de regras (SIZILIO, 2012). De forma direta, nesse estágio são analisadas as entradas para determinação das saídas do sistema. Na Figura 2 a seguir é apresentado um diagrama esquemático da etapa de inferência.

Figura 2 – Diagrama da Etapa de Inferência



Fonte – Adaptado de Mozelli (2008).

Diversos métodos de inferência podem ser utilizados. Neste trabalho foi utilizado o Método de Mamdani (1974), que é o mais utilizado, isso porque apresenta simplicidade, eficiência e bastante semelhança com a intuição humana.

No Método de Mamdani (1974), uma regra SE-ENTÃO é definida por meio do produto cartesiano *fuzzy* dos conjuntos *fuzzy* que constituem o antecedente e o conseqüente da regra. Para agregação das regras, o método de Mamdani utiliza os operadores lógicos E e OU. Em cada regra, o operador lógico E é modelado pelo operador mínimo, já o operador lógico OU é modelado pelo operador máximo. Um exemplo de regras é apresentado a seguir:

**REGRA 1: SE** ( $x$  é  $A_1$  **E**  $y$  é  $B_1$ ) **ENTÃO** ( $z$  é  $C_1$ ).

**REGRA 2: SE** ( $x$  é  $A_2$  **E**  $y$  é  $B_2$ ) **ENTÃO** ( $z$  é  $C_2$ ).

No exemplo citado acima temos que:  $x$  e  $y$  são variáveis reais de entrada;  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $B_1$  e  $B_2$  são conjuntos *fuzzy* de entrada;  $z$  é a variável de saída do sistema; e  $C_1$  e  $C_2$  são conjuntos *fuzzy* de saída.

#### 2.2.1.4 Fase de Defuzzificação

O componente de defuzzificação é responsável pela interpretação do conjunto *fuzzy* de saída e existe em sistemas como o proposto por Mamdani (1974). Ele é utilizado para

gerar um valor numérico único, a partir de todos os possíveis valores contidos no conjunto nebuloso obtido no estágio de inferência para gerar a ação (SANTOS, 2015a). Desse modo, esse processo produz uma saída (dada por um valor real) a partir do conjunto *fuzzy* de saída obtido no sistema de inferência.

O centro de área, o bissetor de área, o maior dos máximos, a média dos máximos e o menor dos máximos (JANTZEN, 1998; MARAJ; SHATRI; RUGOVA, 2008; PASSINO; YURKOVICH, 1997) são os métodos de defuzzificação mais utilizados e que obtêm bons resultados. Esses métodos são descritos a seguir:

- Centro de Área: também conhecida como Centroide, essa técnica calcula o centro da área do Conjunto de Saída (CS) gerado no estágio de inferência e determina sua projeção sobre o eixo x, que é o valor de saída de controle;
- Bissetor: nesse método o valor de saída do estágio de defuzzificação é a posição exata que divide o CS em duas áreas iguais;
- Maior dos Máximos: neste método é realizada a procura do valor máximo do CS (maior grau de pertinência das regras que formaram esse conjunto). A sua posição projetada sobre o eixo x será a saída do estágio de defuzzificação;
- Média dos Máximos: esse método realiza a média aritmética de todos os valores máximos do CS e é utilizado em substituição ao critério dos máximos quando há mais de um máximo na função;
- Menor dos Máximos: é um método alternativo ao critério dos máximos, pois neste é escolhido o menor valor máximo encontrado na varredura do conjunto CS.

## 2.3 Ingestão de Alimentos

Um dos processos essenciais à manutenção do ser humano e que está estreitamente relacionado à sua condição nutricional é a ingestão de alimentos (OLIVEIRA et al., 2008). Esse processo é dividido em mais dois subprocessos: a mastigação e a deglutição (PÄSSLER; FISCHER, 2011). A mastigação tem como objetivo fragmentar os alimentos em partículas cada vez menores para facilitar o processo de deglutição (OLIVEIRA; SOUZA et al., 2016), que por sua vez é o processo regular de condução do bolo alimentar da boca ao estômago (SACONATO; GUEDES, 2009).

A fase de deglutição pode ser dividida em quatro etapas (MATSUO; PALMER, 2008), (ORTIZ, 2006):

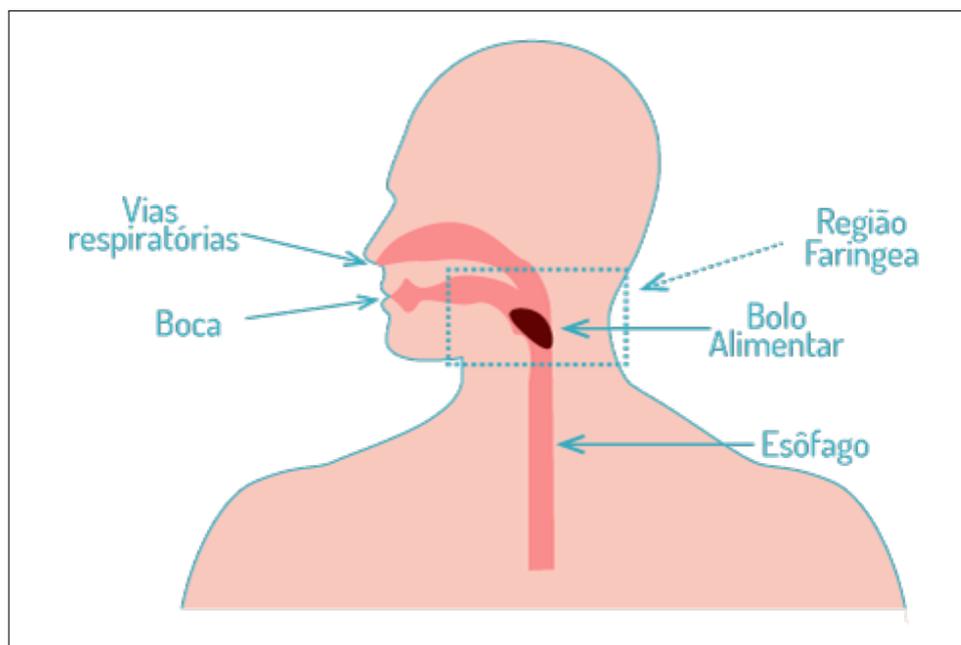
- Fase Oral Preparatória: consiste no recebimento do bolo alimentar pela boca, com o objetivo de realizar a trituração através da mistura do bolo alimentar com auxílio da

saliva. Nessa fase, o bolo alimentar é transformado em pequenos pedaços que serão conduzidos na próxima fase;

- Fase Oral propriamente dita ou propulsiva: nessa fase, ocorre o deslocamento do bolo alimentar à região faríngea;
- Fase Faringea ou Faringea: consiste no deslocamento do bolo alimentar pela via digestiva da faringe ao esôfago. Nessa fase, caso a respiração e a deglutição não estejam coordenadas e sincronizadas, podem acontecer penetrações do bolo alimentar nas vias aéreas;
- Fase Esofágica: ocorre o transporte do bolo alimentar do esôfago até o estômago.

A Figura 3 ilustra os principais mecanismos fisiológicos envolvidos no processo de deglutição.

Figura 3 – Mecanismos Fisiológicos do Processo de Deglutição



Fonte – Autoria Própria (2019)

### 2.3.1 Disfagia

O termo disfagia é derivado das palavras gregas *dys* + *phagein*, que significa dificuldade para comer (KARKOS et al., 2009). Conforme é representado na Tabela 1, o ato de engolir envolve vários mecanismos do sistema digestivo, por isso, a dificuldade na deglutição pode estar relacionada à diferentes etiologias, tais como esofagite de refluxo, acalasia, tumores benignos, carcinomas, compressão extrínseca, esclerodermia, doenças

neuromusculares degenerativas, encefalopatias, demências, traumas de cabeça ou pescoço, Acidente Vascular Encefálico (AVE) (SANTOS, 2015b)(CUENCA et al., 2007).

Tabela 1 – Os Mecanismos Fisiológicos Envolvidos nos Estágios da Deglutição, por Fase.

Estágio de Deglutição	Mecanismo fisiológico
Fase Oral	Comida entra na cavidade oral; Mastigação e formação do bolo alimentar.
Fase Orofaríngea	O palato mole eleva-se para selar a nasofaringe; Os ossos da laringe e do hióide se movem para trás e para cima; A epiglote se move para frente e para baixo para fechar; O esfíncter esofágico superior relaxa e abre; Língua impulsiona o bolo alimentar no esôfago; A faringe se contrai limpa a faringe e fecha o esfíncter superior; Laringe reabre.
Fase esofágica	Esôfago contrai sequencialmente; Esfíncter esofágico inferior relaxa; Bolo alimentar atinge estômago.

Fonte – Adaptado de Malagelada et al. (2014).

Dentre as características da disfagia pode-se destacar o desconforto na garganta no início da deglutição, com o retorno à boca de algum alimento ou líquido, podendo ocorrer tosse devido à aspiração na laringe (CHIOCCA et al., 2005). Dentre os sintomas apresentados, pode-se citar também: dificuldade de iniciar a deglutição, deglutição repetitiva, regurgitação nasal, tosse, fala nasal, salivação, acúmulo de resíduos em decomposição e pneumonia recorrente. Assim, percebe-se a gravidade das consequências da disfagia e a significativa capacidade de morbidade e mortalidade que eles trazem, conseqüentemente, o aumento também nos custos de saúde (SAITOH et al., 2018).

O diagnóstico da disfagia pode ser dado mediante a realização de testes de deglutição e/ou exames, tais como videofluoscopia, eletromiografia (CORIOLANO et al., 2010) e o uso do instrumento *Sonar Doppler* (SANTOS; MACEDO-FILHO, 2006). Também existem testes compostos por fases, no qual, ao final dessas fases, os resultados obtidos indicam a presença ou ausência da disfagia, bem como e o grau de periculosidade em que o paciente se encontra (PADOVANI et al., 2007).

### 2.3.2 Trabalhos Relacionados

É possível a identificação de alguns trabalhos relacionados ao monitoramento da ingestão de alimentos na literatura. Os trabalhos desenvolvidos atuam sobre outros distúrbios alimentares, além da disfagia. Essa subseção apresenta alguns trabalhos relacionados encontrados na literatura.

Spadotto et al. (2008) propõem um sistema para diagnóstico da disfagia orofaríngea através da avaliação dos sons da deglutição. Para isso, os autores oferecem duas contribuições, a classificação da disfagia através de um classificador de padrões chamado *Optimum Path Forest* (OPF) e a classificação através de uma SVM, a fim de fazerem a comparação entre as duas técnicas de identificação através de experimentos, onde os autores notaram que o classificador OPF obteve sobre a SVM tanto maior precisão, quanto menor tempo de execução.

Esteves et al. (2010) apresentam a proposta de instrumentos portáteis de telemonitoramento e ambulatorial para a análise da coordenação entre respiração e deglutição de pacientes com distúrbios na deglutição, a fim de avaliar o desempenho dos dispositivos na descrição de eventos fisiológicos e anormais durante a deglutição da água. A proposta dos autores tem a capacidade de detectar quando a água começa a entrar na boca do paciente, fazer o monitoramento discreto da respiração e caracterizar a elevação da laringe. Após a realização de experimentos com indivíduos normais e disfágicos o sistema apresentou resultados concordantes com a fisiologia. Para tanto, não foram utilizadas técnicas de IA.

Greco, Nunes e Melo (2010) descrevem o desenvolvimento e a aplicação de um instrumento para ser utilizado à beira do leito capaz de avaliar mecanismos de deglutição e identificar pacientes com risco de aspiração. Para isso, foi utilizado um acelerômetro de três eixos da deglutição para medir as vibrações do pescoço durante a deglutição, que fornece sinais analógicos a um instrumento virtual, onde, experimentos mostraram que puderam ser visualizadas alterações nos padrões de aceleração da deglutição, associadas a valores crescentes de volume de água e a disfagia. Entretanto, apesar de fornecer visualmente as alterações nos padrões, o sistema não é capaz de fazer a detecção do risco de aspiração.

Yagi et al. (2017) em seu trabalho apresentam um sistema não invasivo de monitoramento da deglutição usando uma combinação de fluxo respiratório, som de deglutição e movimento laríngeo a fim de facilitar a avaliação de alguns aspectos da disfunção da deglutição. O dispositivo foi aplicado em voluntários saudáveis e com disfagia onde foram medidos os tempos de elevação para laringe durante a deglutição, a duração entre a elevação da laringe e o retorno à posição mais baixa, além da coordenação entre a respiração e a deglutição.

Bi et al. (2016) propõem um sistema *wearable* para monitoramento e reconhecimento da ingestão de alimentos na vida diária. O sistema possui um *hardware* embarcado para captura dos dados do sensor, em conjunto com um microfone de pescoço de alta precisão que captura sinais acústicos da deglutição de maneira não invasiva. Estes dados acústicos são pré-processados e enviados à um *smarthphone* via *bluetooth*, onde é feito o reconhecimento do tipo de alimento ingerido através de um algoritmo leve baseado em árvore de decisão. Uma aplicação móvel foi desenvolvida a fim de apresentar os resultados de reconhecimento de consumo de alimentos de uma maneira amigável, além de oferecer sugestões para uma

alimentação mais saudável, como melhores hábitos alimentares ou equilíbrio nutricional. Experimentos realizados mostraram uma grande assertividade do sistema em relação à identificação do alimento ingerido. Foram realizados experimentos também sobre o conforto de uso e as funcionalidades do aplicativo, apresentando aceitabilidade para a maioria dos usuários.

Como pode-se perceber, é notável que os trabalhos supracitados apresentam características ao monitoramento da ingestão de alimentos. Entretanto, o objetivo dos mesmos não é a detecção de obstruções durante o processo de ingestão de alimentos.

A proposta apresentada neste trabalho se difere da maioria pela capacidade de fazer a detecção de obstruções através de uma técnica de IA, além de oferecer um histórico sobre a alimentação dos pacientes.

Para melhor entendimento, a Tabela 2 abaixo apresenta a comparação entre as seguintes características dos sistemas: Acompanhamento de Pacientes (AP); Técnica de Inteligência Artificial (TIA); Monitoramento Remoto (MR); Histórico Alimentar (HA); e Detecção de Obstruções (DO).

Tabela 2 – Comparação dos Trabalhos Relacionados

	<b>AP</b>	<b>TIA</b>	<b>MR</b>	<b>HA</b>	<b>DO</b>
Spadotto et al. (2008)	*	*			
Esteves et al. (2010)	*		*		
Greco, Nunes e Melo (2010)	*				
Yagi et al. (2017)	*				
Bi et al. (2016)	*	*	*		
Santos (2019)	*	*	*	*	*

Fonte – Aatoria própria (2019).

## 3 Sistema *Fuzzy* para Detecção de Obstruções na Vias Aéreas

Neste capítulo é apresentada a aplicação desenvolvida como objeto de estudo desta monografia. Assim, para melhor entendimento, este capítulo se apresenta da seguinte forma:

**3.1 - Evolução do Sistema:** Apresenta um histórico de evolução do sistema proposto nesta monografia.

**3.1 - Visão Geral:** Apresenta uma visão geral da aplicação desenvolvida, bem como suas características e arquitetura.

**3.2 - Especificação:** Apresentação das especificações técnicas e diagramas relacionados ao desenvolvimento do sistema.

**3.3 - Implementação:** Discute os aspectos gerais relacionados à implementação do sistema, bem como as tecnologias utilizadas para seu desenvolvimento.

### 3.1 Evolução do Sistema

O sistema desenvolvido nesta monografia é uma continuação dos trabalhos de Moreira (2015), intitulado “Sistema de Monitoramento Contínuo da Ingestão De Alimentos” (SMIA), e Barbalho (2018), intitulado de “Equipamento Médico Assistencial Para Monitoramento Da Ingestão De Alimentos”. Além do trabalho de dissertação de mestrado em andamento de Cynthia Moreira Maia, intitulado "Sistema de Apoio à Decisão para Triagem e Monitoramento da Disfagia Orofaríngea".

Moreira (2015) apresentou um sistema capaz de gerar um diário eletrônico das refeições realizadas pelo usuário, armazenando informações tais como o número de refeições, a duração de cada refeição e a classificação do tipo físico do alimento ingerido (sólido ou líquido). O sistema é composto por três componentes: um módulo *device*, responsável pela captura dos sinais da deglutição; um aplicativo *mobile*, responsável por controlar a gravação dos dados obtidos do dispositivo *device*, receber, salvar temporariamente e enviá-los para o servidor quando conectado à internet; e um módulo web, que armazena, processa e através de um módulo inteligente (RNA), classifica o tipo de alimento ingerido pelos usuários.

Barbalho (2018) desenvolveu um Equipamento Médico Assistencial (EMA) com objetivo de auxiliar a equipe médica no monitoramento de pacientes com disfagia. O

o sistema faz o reúso das funcionalidades do SMIA, substituindo a RNA de classificação dos alimentos por ontologias e podendo classificar se o alimento ingerido é sólido, líquido ou pastoso. Essa última classificação não estava presente em Moreira (2015). Além disso, o sistema também é capaz de classificar o nível de disfagia do paciente. O EMA também possui uma interface Web para visualização das informações.

O trabalho de dissertação de mestrado de Cynthia Maia em andamento visa o desenvolvimento de um sistema de apoio à decisão para triagem e monitoramento da disfagia orofaríngea. Busca auxiliar o profissional de saúde na etapa inicial de avaliação do paciente (triagem), com relação a informações da terapia dos pacientes, e assim auxiliar o profissional na averiguação do monitoramento dos pacientes.

Tanto o trabalho de dissertação de Cynthia Maia quanto esta monografia fazem parte de um projeto de pesquisa fomentado pelo Centro de Oncologia e Hematologia de Mossoró (COHM) através da Liga Mossoroense de Estudos e Combate ao Câncer (LMEEC).

Dando continuidade aos sistemas desenvolvidos por (MOREIRA, 2015) e Barbalho (2018), neste trabalho, alguns requisitos foram adicionados e/ou modificados do sistema, tais como:

- Detecção de obstruções: o sistema é capaz de fornecer informações sobre a existência de obstruções, tais como tosse ou engasgos, visando auxiliar a equipe médica no monitoramento dos pacientes. Neste requisito, foi desenvolvido um módulo inteligente baseado em lógica *fuzzy* capaz de identificar estas obstruções.
- Interface Web: nesta parte, foi desenvolvida uma interface Web a fim de apresentar para o profissional de saúde e/ou equipe médica um histórico dos dados relativos a alimentação do paciente.

A Tabela 3 abaixo apresenta as diferenças entre os sistemas existentes e o trabalho proposto nesta monografia.

Tabela 3 – Comparação das Funcionalidades dos Sistemas

	<b>Interface Web</b>	<b>Histórico Alimentar</b>	<b>Detecção de Obstruções</b>
(MOREIRA, 2015)	Não	Sim	Não
(BARBALHO, 2018)	Sim	Sim	Não
(SANTOS, 2019)	Sim	Sim	Sim

Fonte – Autoria própria (2019).

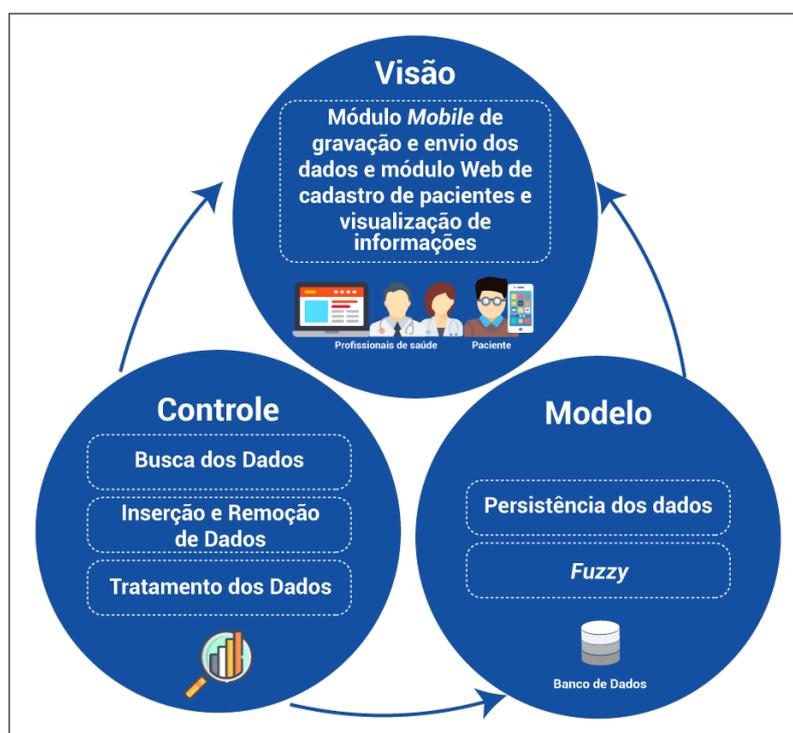
## 3.2 Visão geral

Conforme citado anteriormente, a fim de auxiliar a equipe médica no monitoramento de pacientes com dificuldades na deglutição e/ou disfagia, fornecendo informações detalhadas sobre a alimentação dos pacientes, este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de um sistema inteligente para detecção de obstruções, tais como tosses ou engasgos, nas vias aéreas durante o processo de ingestão de alimentos.

O sistema desenvolvido é composto por três módulos: i) um aplicativo *mobile* Android, para controle da gravação de dados; ii) um módulo *device*, composto por Arduino, acelerômetro e giroscópio, e um laringofone (microfone de pescoço), responsáveis por capturar os dados de som e movimento; e iii) uma Interface Web para visualização de informações.

Os componentes do sistema são organizados conforme o padrão arquitetural *Model-View-Controller* (MVC). Segundo Sommerville (2011), nesse padrão é possível a estruturação do sistema em três componentes lógicos que interagem entre si, são eles: i) Modelo, que gerencia o sistema de dados; ii) Visão, que define e gerencia como os dados são apresentados ao usuário; e iii) o Controlador, que como o nome diz, controla a interação do usuário e passa essas interações para a Visão e Modelo. A Figura 4 apresenta os componentes MVC do sistema.

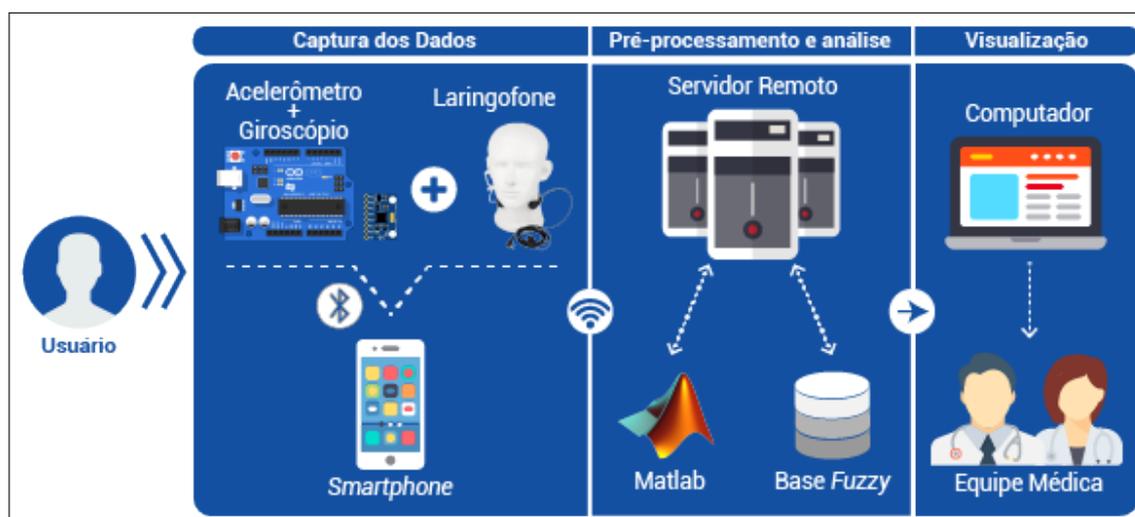
Figura 4 – Representação MVC do Sistema.



Fonte – Autoria própria (2019).

Uma vez determinada a arquitetura do sistema, os procedimentos necessários ao seu bom funcionamento são especificadas em quatro etapas: i) captura dos dados, ii) pré-processamento dos dados, iii) análise dos dados, e iv) visualização das informações. A Figura 5 apresenta a visão geral do sistema desenvolvido.

Figura 5 – Visão Geral do Sistema.



Fonte – Autoria própria (2019).

### 3.2.1 Captura dos dados

Nesta etapa é relevante lembrar que são utilizados somente equipamentos não invasivos, ou seja, que são posicionados externamente no corpo do paciente. Os dados são capturados com o auxílio de um equipamento composto de uma placa de Arduino, conectada a um acelerômetro e giroscópio, e um laringofone (microfone de pescoço). A gravação dos dados é controlada por meio de um aplicativo Android.

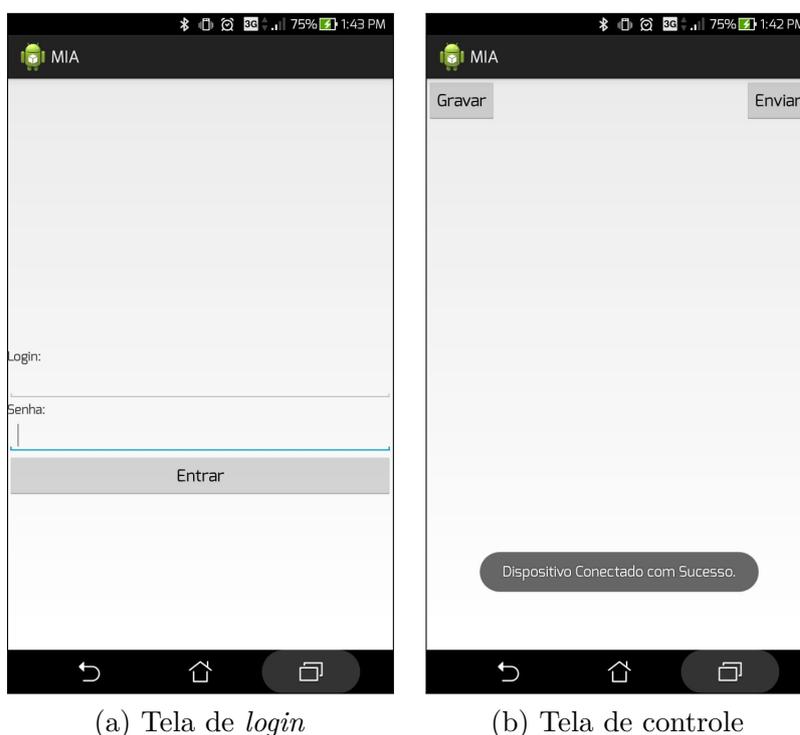
Para a captura dos dados, foi utilizado do sistema embarcado Arduíno desenvolvido por Moreira (2015), bem como o aplicativo Android desenvolvido pelo mesmo autor, que devido a sua versão, foi reajustado por Barbalho (2018). O Arduino (Arduino Uno), é responsável por coletar os dados do acelerômetro e giroscópio (modelo PS-MPU-6000A-00, que possui os dois módulos acoplados à mesma placa), o tempo de utilização do *hardware* a cada amostragem, bem com controlar um módulo *bluetooth* de modelo HC-06, responsável por transferir estes dados ao *smartphone*. O Laringofone é composto de um fone de ouvido *mono* e um Plug P2 que é compatível com a maioria dos *smartphones*, e pode ser facilmente posicionado no pescoço, o que promove uma melhor captação do som gerado durante o processo de deglutição.

O aplicativo móvel por sua vez possui uma interface simples, apenas com as

funcionalidades básicas à gravação dos dados, tais como botões de início e pausa de captura, bem como envio destes dados. É relevante lembrar que para a gravação dos dados é necessário antes o cadastro e *login* no sistema, bem como permitir a conexão do *smartphone* com o dispositivo embarcado através do *bluetooth*.

A Figura 6a mostra a tela de *login* do usuário, requisito necessário para acesso a tela de controle do aplicativo móvel (Figura 6b) na qual é possível gravar e enviar os dados.

Figura 6 – Telas do Aplicativo Móvel.



(a) Tela de *login*

(b) Tela de controle

Fonte – Autoria própria (2019).

Os dados obtidos da gravação são armazenados temporariamente no *smartphone* até que haja conexão com a Internet para que seja realizado o envio. Quando gravados, o áudio possui um formato *.wav* (*Waveform Audio File Format*) e os arquivos gerados pelo acelerômetro e giroscópio possuem um formato *.csv* (*Comma-separated Values*).

### 3.2.2 Pré-processamento

Finalizada a etapa de captura de dados, os dados são armazenados em um servidor local, e posteriormente, passarão por um pré-processamento antes da análise. Para tanto, é utilizado o *software* MATLAB© versão estudante (MATHWORKS, 2017), que permite a execução de cálculos matemáticos, processamento de sinais, dentre outras funções, a fim

de obter o valor do desvio padrão dos dados gerados durante o processo de mastigação e deglutição e retornar um resultado numérico que servirá para análise.

O desvio padrão é uma medida de dispersão de valores com relação à média, ou seja, quando o desvio padrão resulta em um valor elevado, significa que houve uma grande variação nestes valores. Nesse contexto, o desvio padrão foi utilizado para verificar a variação nos dados sonoros e de movimento gerados durante a mastigação e deglutição. Após este cálculo, os resultados são armazenados em um banco de dados no servidor local.

### 3.2.3 Análise dos dados

A etapa de análise dos dados tem o objetivo de identificar possíveis obstruções durante o processo de mastigação e deglutição. Para isso, nesta etapa, foi desenvolvido um algoritmo baseado em lógica *fuzzy*, utilizando de conceitos citados na subseção 2.2.1 deste trabalho. A lógica *fuzzy* foi escolhida por possuir vantagens quando se trata da análise de dados imprecisos, além de ser baseada na linguagem natural, e a possibilidade de ser construída com base na experiência de especialistas, conforme citado na subseção 2.2.1. Nesta etapa foram determinadas e estruturadas os termos linguísticos para caracterização de conjuntos *fuzzy*, bem como os conjuntos, as funções de pertinência dos dados e a base de regras *fuzzy*.

Essa estruturação do algoritmo de inferência *fuzzy* é feita através de um arquivo *.fcl*, do inglês *Fuzzy Control Language* (FCL), um padrão para programação de algoritmos *fuzzy* publicado pela *International Electrotechnical Commission* (IEC). As especificações para a sintaxe FCL podem ser encontradas no documento IEC 61131-7 (IEC, 2000). A Figura 7 mostra a estrutura básica de um arquivo *.fcl*.

Figura 7 – Estrutura Básica de Um Arquivo FLC

```
FUNCTION_BLOCK
  VAR_INPUT
    <nome da variável> REAL;
  END_VAR
  VAR_OUTPUT
    <nome da variável> REAL;
  END_VAR
  FUZZIFY <nome da variável>
    TERM < nome do termo (ou conjunto)> := <particoes que compõem o termo> ;
  END_FUZZIFY
  DEFUZZIFY <variável de saída>
    TERM < nome do termo (ou conjunto)> := <particoes que compõem o termo> ;
    MÉTODO: <método de defuzzificação> ;
  END_DEFUZZIFY
  RULEBLOCK <nome do bloco de regras>
    REGRA <número da regra> : SE <condição> ENTÃO <conclusão> ;
  END_RULEBLOCK
END_FUNCTION_BLOCK
```

Neste caso, o arquivo .fcl é executado a partir de uma interface de programação de aplicações, do inglês, *Application Programming Interface* (API) Java.

A primeira etapa do algoritmo consiste na determinação e fuzzificação das variáveis de entrada. Estas variáveis foram determinadas conforme os dados capturados pelos sensores (som e movimento). A fuzzificação dos dados de entrada tem o objetivo de criar termos linguísticos para representar os conjuntos *fuzzy* de entrada. Estes conjuntos podem caracterizar a amplitude do som e a variação dos movimentos obtidos na captura dos dados.

As variáveis de entrada são divididas em intervalos essenciais à determinação do seu grau de pertinência nos conjuntos *fuzzy*. A determinação destes intervalos partiu de um experimento que consistiu na captura e análise de dados de voluntários saudáveis, que ingeriram um copo de 200ml de água, um iogurte e uma bolacha do tipo água e sal. Durante este experimento, também foram simuladas algumas obstruções (tosses), gerando uma gama variada de dados a fim de determinar com maior precisão a base de regras, validar a aplicabilidade do algoritmo desenvolvido, além de refinar a segurança dos resultados obtido.

A segunda etapa, de forma análoga a primeira, é a defuzzificação da variável de saída, que foi definida conforme o resultado buscado (presença de obstrução). Essa fase consistiu em determinar os termos linguísticos e seus respectivos intervalos dos conjuntos *fuzzy* para as saídas do algoritmo, bem como o método de defuzzificação a ser utilizado. Para este trabalho, foi escolhido o Centro de Área, citado na seção subseção 2.2.1.4 deste trabalho. O conjunto *fuzzy* da variável de saída gerada na defuzzificação pode determinar a presença ou não de obstruções.

A terceira etapa consiste na determinação da base de regras *fuzzy*. Como foi citado na Seção subseção 2.2.1.3 deste trabalho, esse componente é responsável por aplicar a estrutura de raciocínio através da tradução matemática de cada proposição, analisando as entradas e determinando as saídas do algoritmo. Ou seja, após a fuzzificação das variáveis entradas e defuzzificação da variável de saída, é possível determinar em que conjunto *fuzzy* de saída os dados estarão inseridos.

Desse modo, é feita uma correlação dos conjuntos *fuzzy* de entrada através de regras SE ENTÃO, a fim de verificar em que conjunto *fuzzy* de saída eles estão inseridos, ou seja, a presença de obstruções. As regras são do tipo:

**REGRA 1: SE** (som é  $A_1$  **E** movimento é  $B_1$ ) **ENTÃO** (obstrução é  $C_1$ ).

**REGRA 2: SE** (som é  $A_2$  **E** movimento é  $B_2$ ) **ENTÃO** (obstrução é  $C_2$ ).

**REGRA N: SE** (som é  $A_n$  **E** movimento é  $B_n$ ) **ENTÃO** (obstrução é  $C_n$ ).

Após todas as etapas do algoritmo *fuzzy*, retorna um valor real referente ao resultado da inferência realizada, esse valor tem um termo linguístico associado ("Sim" ou "Não") que se refere a presença ou não de obstrução e será salva no banco de dados para posterior coleta na etapa de visualização de dados.

### 3.2.4 Visualização das informações

O procedimento de visualização dos dados é realizado após as etapas de captura, pré-processamento e análise dos dados, nesta etapa as informações são disponibilizadas para a equipe médica através da aplicação Web desenvolvida. Para isso, foi desenvolvida uma interface web responsiva, a fim de aumentar a gama de dispositivos compatíveis com o sistema.

Dentre as principais funcionalidades do sistema Web desenvolvido pode-se citar: o cadastro de pacientes no sistema; recuperar por número de identificação (ID) as informações de determinado paciente; e a listagem das informações de todos os pacientes cadastrados. A Figura 8 apresenta a interface Web inicial desenvolvida.

Figura 8 – Interface Inicial do Sistema Web.



Fonte – Autoria própria (2019).

## 3.3 Especificação

Esta subseção apresenta a especificação do software desenvolvido. A especificação é o processo de compreensão e definição de todos os serviços requisitados no sistema, bem como a identificação de possíveis restrições relativas ao seu desenvolvimento. Os principais

conceitos abordados nesta seção são retirados de Sommerville (2011). A Tabela 4 especifica e exemplifica quem serão os atores do sistema.

Tabela 4 – Usuários (Atores) do Sistema

Usuário	Descrição
Paciente	Usuário responsável por gravar e enviar dados para o sistema.
Profissional de saúde	Usuário responsável por gerenciar e acompanhar os pacientes.

Fonte – Autoria própria (2019).

Para Sommerville (2011, p. 60) os requisitos funcionais de um sistema "são declarações de serviços que o sistema deve fornecer, de como o sistema deve reagir a entradas específicas e de como o sistema deve se comportar em determinadas situações".

A Tabela 5 apresenta os requisitos funcionais atribuídos ao profissional de saúde no sistema.

Tabela 5 – Requisitos Funcionais do Profissional de Saúde no Sistema

ID	Nome	Descrição
RF01	Realizar <i>Login</i> Web	o usuário só terá acesso as funcionalidades do sistema após a realização do <i>login</i> .
RF02	Cadastrar Paciente	O profissional de saúde é responsável por cadastrar os pacientes aos quais ele monitora.
RF03	Buscar Paciente	O profissional pode buscar por meio do ID as informações de determinado paciente.
RF04	Visualizar Informações	O profissional de saúde pode visualizar as informações de todos os pacientes cadastrados no sistema.

Fonte – Autoria própria (2019).

Do mesmo modo, a Tabela 6 descreve os requisitos funcionais do paciente no sistema.

Tabela 6 – Requisitos Funcionais do Paciente no Sistema

ID	Nome	Descrição
RF01	Realizar <i>Login</i> <i>Mobile</i>	o usuário só terá acesso as suas funcionalidades do sistema após a realização do <i>login</i> .
RF05	Gravar Dados	O paciente deve ser capaz de gravar os dados emitidos durante a deglutição.
RF06	Enviar Dados	O paciente deve ser capaz de enviar os dados gravados ao servidor do sistema.

Fonte – Autoria própria (2019).

Sommerville (2011, p. 60) retrata que os requisitos não funcionais "podem estar relacionados às propriedades resultantes do sistema, como confiabilidade, tempo de resposta e ocupação de área", ou seja, não são diretamente relacionados com os serviços específicos oferecidos pelo sistema. Desse modo, a Tabela 7 descreve detalhadamente os requisitos não funcionais definidos para o sistema.

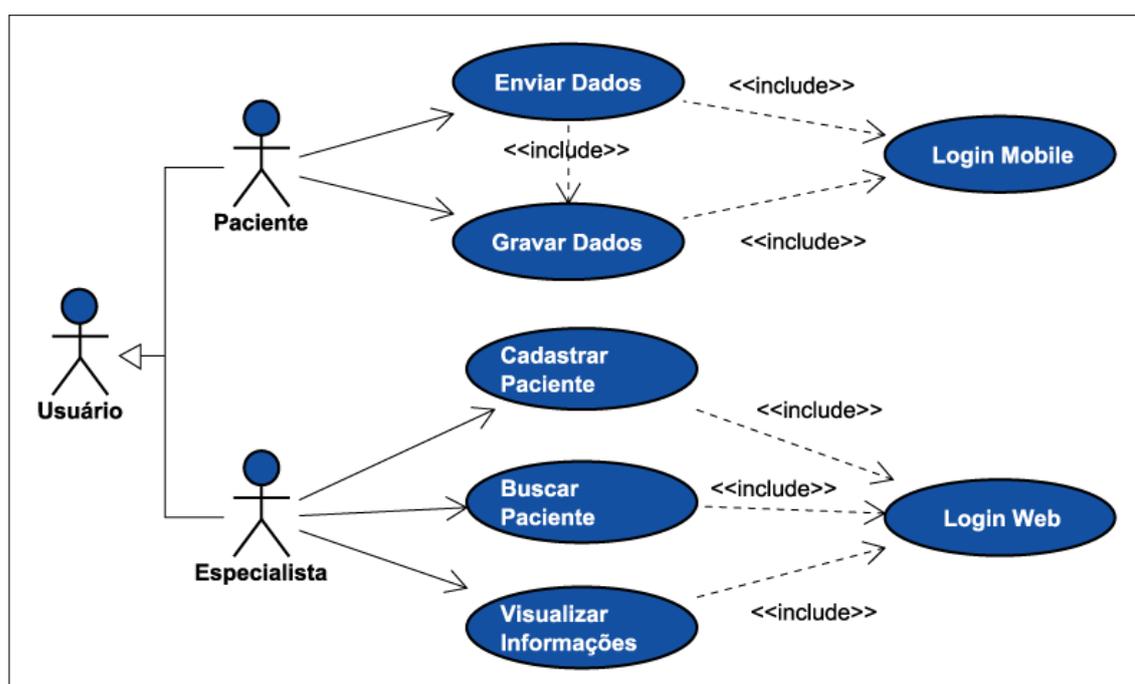
Tabela 7 – Requisitos Não Funcionais do Sistema

ID	Nome	Descrição
RNF01	Interfaces Amigáveis	O sistema deve possuir interfaces amigáveis e de fácil acessibilidade.
RNF02	Acesso aos recursos do dispositivo	O usuário deve ser capaz de acessar recursos do dispositivo, como por exemplo o <i>bluetooth</i> e a entrada Plug P2.

Fonte – Autoria própria (2019).

Um diagrama de casos de uso é uma técnica de especificação bastante utilizada para descoberta de requisitos e, em sua forma mais simples permite identificar os atores envolvidos em uma interação com o sistema. A Figura 9 ilustra o Diagrama de casos de uso do sistema

Figura 9 – Diagrama de Casos de Uso do Sistema.



Fonte – Autoria própria (2019).

A Tabela 8 apresenta a especificação dos Casos de Uso do sistema. A especificação de caso de uso visa detalhar todas as informações necessárias ao desenvolvimento de cada requisito.

Tabela 8 – Especificação de Casos de Uso do Sistema (CDU).

<b>CDU01 - Realizar <i>Login</i></b>
<b>Descrição curta:</b> usuários realizam <i>login</i> no sistema informando nome de usuário e senha.
<b>Requisitos atendidos:</b> RF01.
<b>Pré-condição:</b> possuir cadastro no sistema.
<b>Pós-condição:</b> usuário terá acesso às suas respectivas funcionalidades do sistema.
<b>Situações de erro:</b> usuário não está cadastrado.
<b>Atores envolvidos:</b> profissional de saúde e paciente.
<b>Condição de entrada:</b> Usuário tenta acessar o sistema.
<b>Processo padrão:</b>
a) usuário acessa sua respectiva página inicial;
b) usuário informa seus dados de autenticação.
<b>CDU02 - Cadastrar Paciente</b>
<b>Descrição curta:</b> o profissional de saúde cadastra novos pacientes no sistema.
<b>Requisitos atendidos:</b> RF01 e RF02.
<b>Pré-condição:</b> o profissional de saúde deve possuir cadastro no sistema e estar logado.
<b>Pós-condição:</b> o paciente cadastrado terá acesso as suas respectivas funcionalidades no sistema após o <i>login</i> .
<b>Situações de erro:</b> profissional de saúde não está cadastrado.
<b>Atores envolvidos:</b> profissional de saúde.
<b>Condição de entrada:</b> o profissional de saúde tem um novo paciente para acompanhar.
<b>Processo padrão:</b>
a) Profissional de saúde acessa página de cadastro de pacientes;
b) Profissional de saúde informa dados do paciente;
c) Sistema confirma cadastro.
<b>CDU03 - Buscar Informações</b>
<b>Descrição curta:</b> O profissional de saúde pode visualizar os dados de determinado paciente.
<b>Requisitos atendidos:</b> RF01, RF03 e RF04.
<b>Pré-condição:</b> o profissional de saúde deve possuir cadastro no sistema e estar logado.
<b>Pós-condição:</b> o profissional de saúde visualiza informações do paciente.
<b>Situações de erro:</b> paciente não encontrado.
<b>Atores envolvidos:</b> profissional de saúde.

**Condição de entrada:** o profissional de saúde decide visualizar situação de um paciente.

**Processo padrão:**

- a) Profissional de saúde loga no sistema;
- b) Profissional de saúde acessa página de busca de pacientes;
- c) Profissional de saúde informa dados (ID) do paciente;
- d) Sistema retorna informações.

---

---

#### CDU04 - Gravar dados

---

---

**Descrição curta:** paciente loga sistema informando nome de usuário e senha.

**Requisitos atendidos:** RF01 e RF05.

**Pré-condição:** possuir cadastro no sistema.

**Pós-condição:** usuário grava seus dados durante a ingestão de alimentos.

**Situações de erro:** usuário não está cadastrado.

**Atores envolvidos:** paciente.

**Condição de entrada:** paciente logado no aplicativo móvel vai iniciar uma refeição.

**Processo padrão:**

- a) paciente conecta seu dispositivo ao sistema e permite acesso à recursos do dispositivo;
- b) paciente posiciona equipamentos;
- c) paciente grava dados.

---

---

#### CDU05 - Enviar dados

---

---

**Descrição curta:** paciente realiza *login* no sistema informando nome de usuário e senha.

**Requisitos atendidos:** RF01 e RF06.

**Pré-condição:** possuir cadastro no sistema.

**Pós-condição:** usuário enviar arquivos ao servidor.

**Situações de erro:** paciente não está cadastrado ou não possui conexão com a internet.

**Atores envolvidos:** paciente.

**Condição de entrada:** dados foram gravados e o paciente deseja enviá-los.

**Processo padrão:**

- a) paciente se conecta à internet;
- b) paciente envia dados.

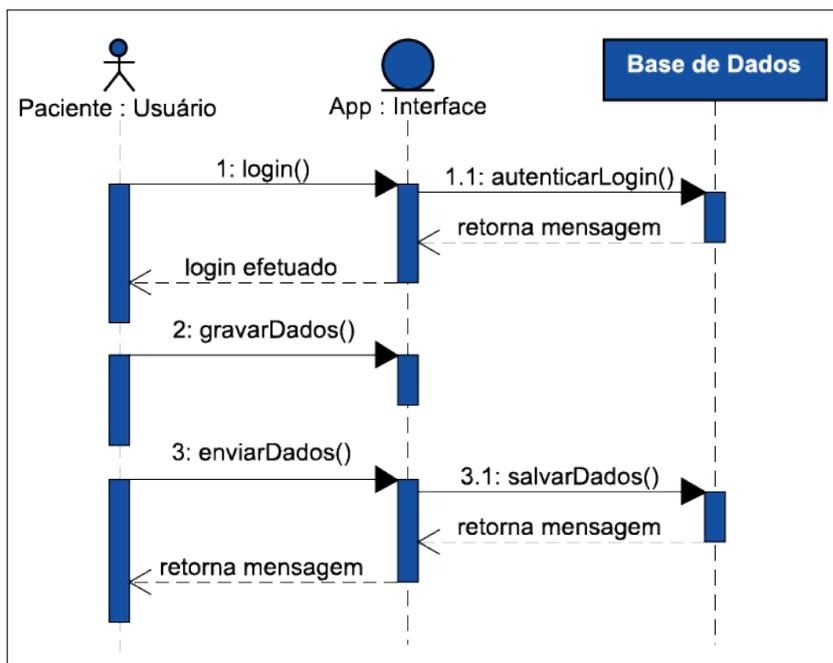
---

---

Fonte – Autoria própria (2019)

Diante de cada interação dos atores, representadas pelo diagrama de casos de uso é gerado um evento de sistema, que necessita de uma operação de sistema para tratar do evento. Um diagrama de sequência é uma figura que ilustra essas operações para os cenários específicos de um determinado caso de uso (LARMAN, 2004). A Figura 10 Apresenta o diagrama de sequência para a gravação de dados pelo paciente.

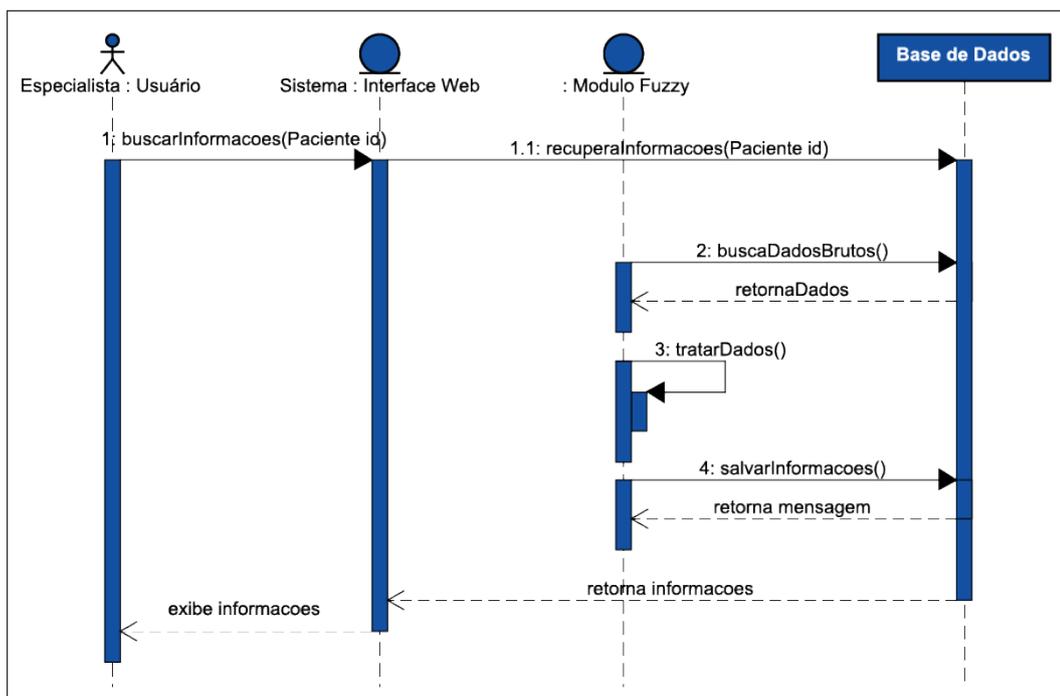
Figura 10 – Diagrama de Sequência da Gravação dos Dados.



Fonte – Autoria própria (2019).

A Figura 11 ilustra o Diagrama de sequência da busca por informações no sistema.

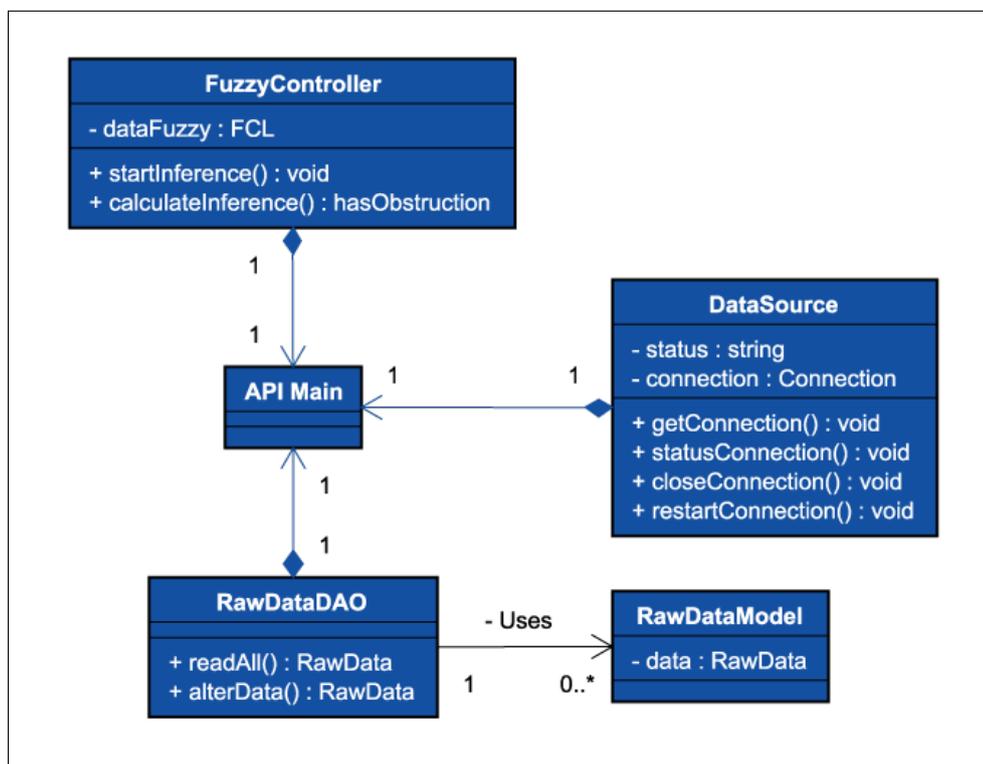
Figura 11 – Diagrama de Sequência da Busca por Informações



Fonte – Autoria própria (2019).

Como citado na subseção 3.2.3, o algoritmo *fuzzy* é modelado a partir de um arquivo FCL que é executado a partir de uma API Java. A Figura 12 apresenta o diagrama de classes da API.

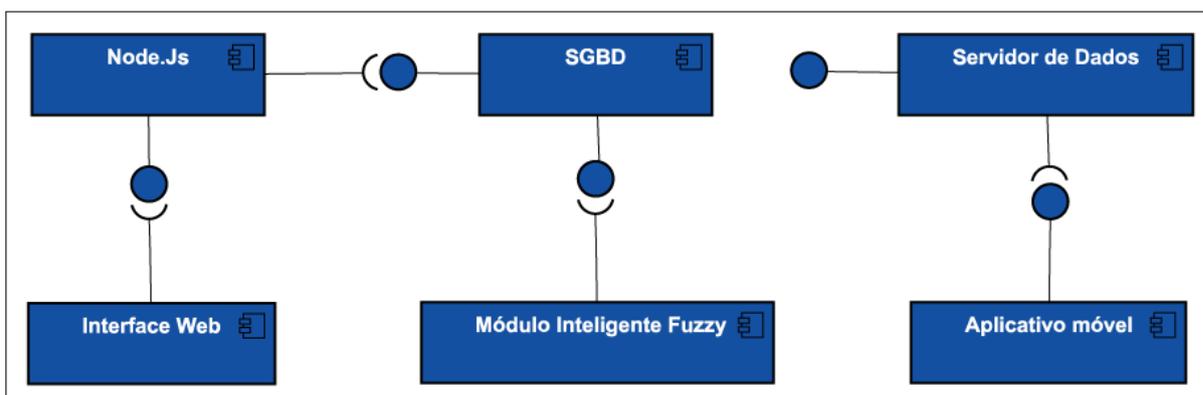
Figura 12 – Diagrama de Classes da API para Execução do FCL.



Fonte – Autoria própria (2019).

Por fim, a Figura 13 ilustra o diagrama de componentes do sistema apresentado.

Figura 13 – Diagrama Componentes do Sistema



Fonte – Autoria própria (2019).

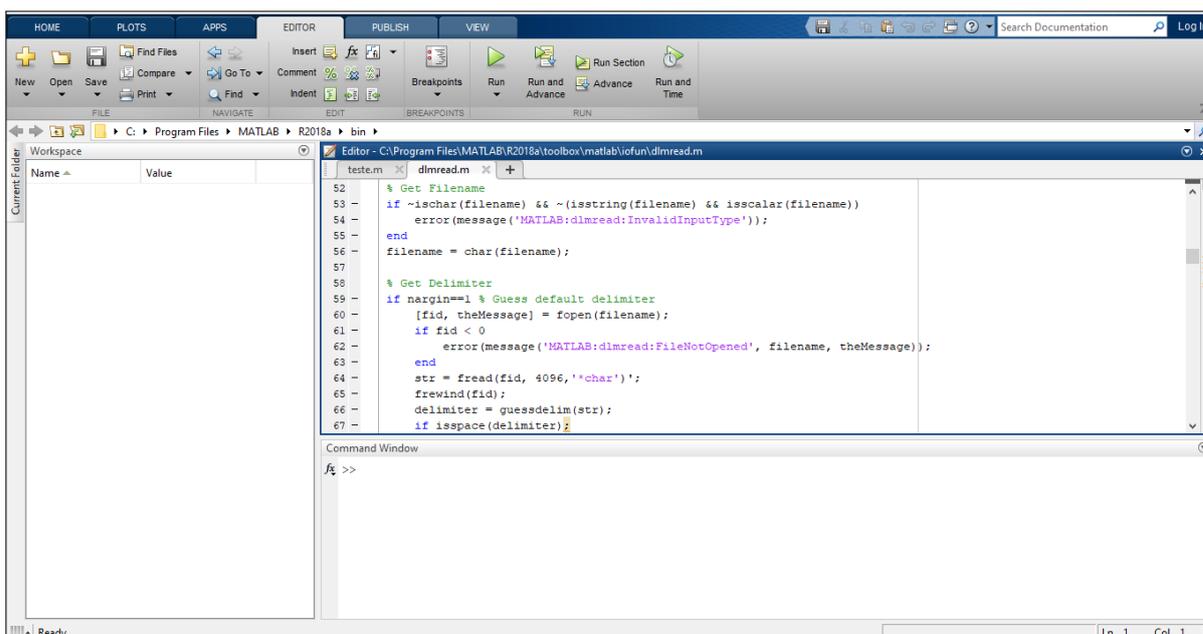
## 3.4 Implementação

Esta subseção apresenta os detalhes da implementação do sistema proposto neste trabalho, bem como as principais ferramentas utilizadas para este processo, tais como: sistema de gerenciamento de banco de dados (SGBD), *frameworks*, e principais linguagens de programação.

### 3.4.1 Ferramentas utilizadas

Como citado na subseção 3.2.2, o MATLAB® versão estudante foi utilizado na fase de pré-processamento dos dados. O MATLAB® é um software com ferramentas para análise de dados rigorosamente testadas e totalmente documentadas (MATHWORKS, 2017). A Figura 14 apresenta a interface inicial do MATLAB®.

Figura 14 – Interface Inicial do MATLAB.



Fonte – Autoria própria (2019).

Para desenvolvimento do sistema, após a estruturação do algoritmo *fuzzy* em um arquivo FCL, como citado na subseção 3.2.3, foi utilizada a linguagem de programação Java para desenvolvimento de uma API, responsável por fazer a interpretação do FCL, bem como salvar os resultados obtidos da inferência em um banco de dados. Dentre as principais vantagens da utilização do Java, pode-se citar que ela permite a gravação de *software* em uma plataforma e execução virtualmente em qualquer outra plataforma (ORACLE, 2019a). O Código 1 mostra uma exemplificação da API Java desenvolvida.

## Código 1 – Exemplificação API Java

---

```
1 public class Main{
2     public static void main(String[] args) {
3         throws Exception{
4             FIS fis = FIS.load("baseFuzzy.fcl", true);
5             fis.setVariable("som", som);
6             fis.setVariable("movimento", movimento);
7             fis.evaluate();
8             double obstrucao;
9             obstrucao=fis.getVariable("obstrucao").getValue();
10        }
11    }
12 }
```

---

Fonte – Aatoria Própria (2019).

A nova interface web desenvolvida é hospedada por meio do Node.js, uma plataforma para criação de servidores rápidos e escaláveis, que busca manter um consumo reduzido de recursos computacionais, principalmente de memória (TILKOV; VINOSKI, 2010). Tanto o *backend* quanto o *frontend* (lado servidor e lado cliente, respectivamente) da aplicação web foram desenvolvidos com a utilização de JavaScript, sendo que as páginas do *frontend* são produzidas com Javascript embutida, do inglês Embedded JavaScript (EJS), o que permite a fácil transmissão de dados entre o servidor e o cliente.

O SGBD utilizado foi o MySQL, um banco de dados relacional, de código aberto, com alto desempenho, confiabilidade e facilidade de uso (ORACLE, 2019b). As consultas ao banco são realizadas a partir da linguagem de consulta estruturada, do inglês *Structured Query Language* (SQL) a linguagem de consulta padrão para bancos de dados relacionais.

## 4 Estudo de Caso: Aplicação do Sistema em Ambiente Real

Este capítulo discute o estudo de caso realizado a fim de validar, em ambiente real, a aplicabilidade do sistema proposto. Para melhor atendimento, o capítulo é dividido como segue:

**4.1 - Contextualização do Experimento:** estabelece as principais características adotadas para a realização do experimento descrito.

**4.2 - Validação:** apresenta a validação do sistema em um ambiente real.

**4.3 - Discussão dos Resultados:** apresenta a discussão dos resultados de análises sob os reais capturados no experimento descrito neste capítulo.

### 4.1 Contextualização do Experimento

Os dados foram capturados a partir de experimentos com um grupo de quatro pacientes do Centro de Oncologia e Hematologia de Mossoró (COHM) através da Liga Mossoroense de Estudos e Combate ao Câncer (LMECC). Para inclusão nesse estudo, utilizou-se dos seguintes critérios:

- Possuir algum tipo de patologia relacionada à dificuldade na deglutição (disfagia);
- Disposição para realizar os testes do sistema;
- Assinar o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE).

O grupo consistiu em quatro voluntários portadores de doenças relacionadas à disfagia. A Tabela 9 mostra detalhes sobre a saúde de cada um desses pacientes, bem como se esses pacientes apresentaram obstruções (tosses ou engasgos) durante os testes.

Tabela 9 – Descrição dos Voluntários com Patologias Relacionadas à Disfagia

Paciente	Descrição	Presença de obstruções
Paciente 1	Mais de 60 anos, portador de câncer de faringe, com reações de radioterapia.	Não
Paciente 2	Mais de 60 anos, portador de câncer na tireoide, com reações de radioterapia e dificuldades para se alimentar de sólidos.	Não

---

Paciente 3	Mais de 60 anos, portador de disfagia decorrente de câncer nas cordas vocais e que só consegue se alimentar de alimentos pastosos.	Não
Paciente 4	Mais de 60 anos, portador de tumor na garganta e passa por quimioterapia.	Sim

---

---

Fonte – Elaborada Pelo Autor (2019).

Ao todo, 04 (quatro) indivíduos, todos portadoras de alguma doença relacionada à disfagia, que tiveram o sexo ignorado, foram convidados a participar do experimento, onde obteve-se êxito na gravação dos dados, assim, os testes foram realizados com sucesso.

Durante o experimento, o equipamento de giroscópio e acelerômetro esteve posicionado na altura da mandíbula, e o laringofone foi posicionado no pescoço dos voluntários.

## 4.2 Validação

A validação do sistema se deu como foi supracitado, em um ambiente real e seguiu as etapas discutidas na Figura 5, presente na seção 3.2 deste trabalho. Nas seções seguintes, são discutidas cada uma dessas etapas.

### 4.2.1 Ambiente de validação

Para a validação do sistema, o ambiente ao qual o paciente estava foi configurado como segue:

- Os voluntários foram posicionados sentados;
- Os voluntários mantiveram silêncio durante a captura dos dados;
- Os voluntários foram cadastrados no sistema.

É importante ressaltar que houve um acompanhamento de uma profissional de saúde (fonoaudióloga) durante a realização dos experimentos com pacientes que apresentavam patologias relacionadas à disfagia.

#### 4.2.1.1 Captura dos dados

Com o ambiente configurado como descrito anteriormente, foram capturados os dados de sons e movimentos emitidos durante a ingestão de alimentos feita pelos voluntários. Os quatro voluntários, portadores de alguma patologia relacionada à disfagia, ingeriram os elementos de acordo com as suas restrições.

Os arquivos resultantes das capturas foram posteriormente enviados ao servidor local, para realização da etapa de pré-processamento e análise, descrita na próxima Seção.

#### 4.2.1.2 Pré-processamento e Análise

Como já citado na subseção 3.2.2, o pré-processamento consiste no cálculo do desvio padrão dos arquivos de som e movimento capturados na fase de captura dos dados. O resultado desse cálculo é salvo em um banco de dados no servidor local, para que o algoritmo de inferência *fuzzy* possa fazer a análise.

Na fase de análise por sua vez, conforme a subseção 3.2.3, o módulo inteligente que foi desenvolvido fundamentado em lógica *fuzzy* e baseado em regras, busca com base nas análises dos dados, correlacionar as informações resultantes para gerar informações à respeito da presença de obstruções nas vias aéreas dos pacientes e informar à equipe médica responsável pelo monitoramento do mesmo.

#### 4.2.1.3 Visualização das Informações

Passada a fase de pré-processamento e análise dos dados, a ferramenta Web disponibiliza ao profissional de saúde um histórico alimentar do paciente, que apresenta informações relevantes sobre o estado nutricional de cada paciente acompanhado.

Na interface Web, o profissional de saúde pode visualizar os dados de todos os pacientes sem filtro, conforme o ambiente ilustrado na Figura 15, que apresenta as informações pós análise dos quatro voluntários portadores de doenças relacionadas à disfagia descritos na Tabela 9.

Figura 15 – Listagem de Pacientes na Interface Web



ID	Nome	Data/Hora	Duração(s)	Obstrução
1	Paciente 1	2019-04-15 07:20:15	42.508	NAO
2	Paciente 2	2019-04-15 07:45:05	5.042	NAO
3	Paciente 3	2019-04-15 08:31:21	49.092	NAO
4	Paciente 4	2019-04-15 09:15:26	8.026	SIM

Fonte – Elaborada pelo Autor (2019).

Além disso, é possível visualizar as informações de determinado indivíduo através da busca filtrada por ID. A Figura 16 ilustra a busca pelo paciente 4.

Figura 16 – Busca de Pacientes na Interface Web



ID	Nome	Data/Hora	Duração(s)	Obstrução
4	Paciente 4	2019-04-15 09:15:26	8.026	SIM

Fonte – Elaborada pelo Autor (2019).

### 4.3 Resultados e Discussão

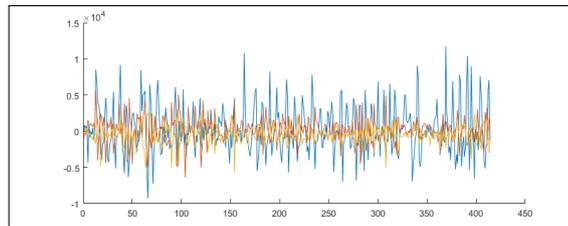
A etapa de testes do sistema é um procedimento imprescindível em todo o processo de desenvolvimento, principalmente quando se trata de um produto aplicado à medicina, que o erro é inaceitável, uma vez que pode ocasionar sérias consequências ao usuário que o utiliza, seja ele profissional de saúde ou paciente.

A etapa de validação, por sua vez, tem o objetivo de verificar o desempenho do sistema bem como a sua aplicabilidade em um ambiente real. O estudo de caso deste trabalho buscou verificar a relevância e aplicabilidade de um sistema inteligente para detecção de obstruções nas vias aéreas durante o processo de ingestão de alimentos.

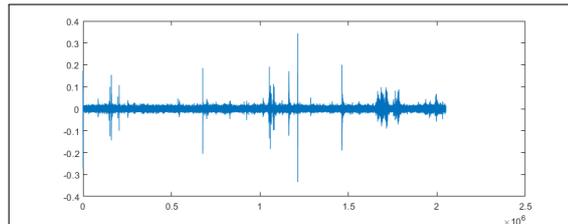
A detecção de obstruções, como já dito anteriormente, foi baseada na análise de som e movimentos gerados durante o processo de deglutição, através de uma correlação dos resultados desta análise. Com base nestes resultados, um histórico da alimentação dos pacientes é apresentado ao profissional de saúde na Interface Web.

O paciente 1 ingeriu uma bolacha do tipo "maisena" (alimento sólido, que necessita de mastigação) com água, por isso pode-se notar uma certa variação dos movimentos mandibulares (Figura 17a). Além disso, observando-se o gráfico que ilustra o som capturado (Figura 17b) é possível ver que este apresenta variações, mas nenhuma variação brusca.

Figura 17 – Gráficos dos Dados Gerados pela Captura no Paciente 1



(a) Gráfico gerado pela movimentação.

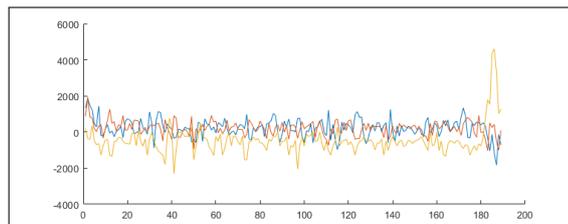


(b) Gráfico gerado pelo som.

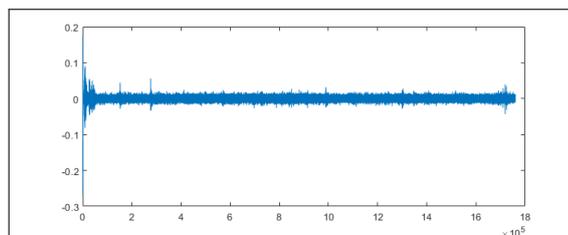
Fonte – Elaborada pelo Autor (2019).

O paciente 2 ingeriu apenas água (alimento líquido, que requer poucos movimentos para deglutição), por isso, nessa captura já pode ser observada uma diferença considerável no gráfico de movimento (Figura 18a), bem como uma variação bem pequena também no gráfico gerado pelo som (Figura 18b), porém, o gráfico não apresenta variação brusca, essa pequena variação, mesmo considerando a ingestão de água, pode ser justificada pelo estado debilitado do paciente.

Figura 18 – Gráficos dos Dados Gerados pela Captura no Paciente 2



(a) Gráfico gerado pela movimentação



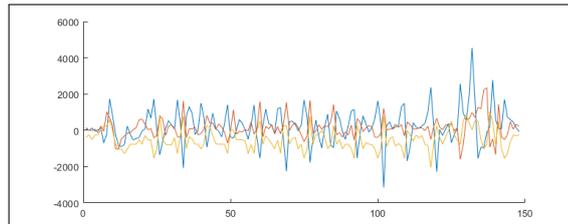
(b) Gráfico gerado pelo som.

Fonte – Elaborada pelo Autor (2019).

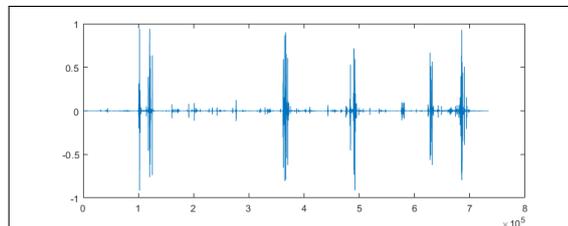
O paciente 3, ingeriu água com espessante (alimento pastoso), que requer uma

certa movimentação na mandíbula para deglutição, e por sua vez, também se assemelha à ingestão de líquidos. É possível observar então, uma variação tanto no gráfico da captura dos movimentos (Figura 19a) quando no gráfico que representa a captura no som (Figura 19b). Também não observa-se nenhuma variação brusca no gráfico.

Figura 19 – Gráficos dos Dados Gerados pela Captura no Paciente 3



(a) Gráfico gerado pela movimentação.

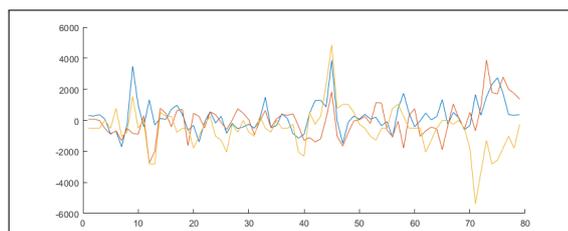


(b) Gráfico gerado pelo som.

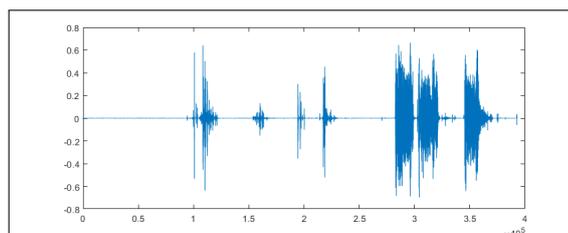
Fonte – Elaborada pelo Autor (2019).

A Figura 20 apresenta os gráficos dos dados capturados no paciente 4, que ingeriu água com bastante dificuldade e apresentou uma obstrução durante o processo de captura.

Figura 20 – Gráficos dos Dados Gerados pela Captura no Paciente 4



(a) Gráfico gerado pela movimentação.



(b) gráfico gerado pelo som.

Fonte – Elaborada pelo Autor (2019).

Pode-se observar uma movimentação considerável no gráfico de movimento (Figura 20a), mesmo ingerindo um alimento líquido. Essa variação se dá também ao estado debilitado do paciente, que realizou lentamente a ingestão do alimento, o que requer que o processo de abertura da mandíbula seja realizado mais vezes. A Figura 20b, ilustra a captura do som gerado. Nele, é possível observar uma grande variação repentina, que deve-se ao som gerado pela obstrução (tosse).

Dentre os principais desafios para a realização desse experimento, pode-se citar a seleção dos pacientes, o estado debilitado de saúde que eles se encontravam ocasionou em certa dificuldade na seleção para aplicação dos testes.

Com base no que foi supracitado, pode-se concluir que o sistema inteligente desenvolvido inferiu corretamente sobre os dados dando um resultado satisfatório sobre todos os testes realizados em ambiente real, o que pode oferecer ao profissional de saúde, um histórico alimentar de fundamental importância para o monitoramento de pacientes. Cumprindo o objetivo principal desse trabalho que foi o desenvolvimento de um sistema inteligente *fuzzy* capaz de identificar a presença de obstruções nas vias aéreas, através da análise de dados de som e movimento que são gerados durante o processo de deglutição.

## 5 Considerações finais

Com base nos experimentos realizados é possível considerar que o sistema apresentou um desempenho satisfatório conforme foi especificado. A presença de obstruções foi analisada pelo algoritmo de inferência *Fuzzy* com base nos sinais sonoros e de movimentos gerados durante a deglutição, estes sinais são de fundamental importância para inferência, uma vez que, juntos, possibilitam uma melhora na identificação de obstruções.

Uma definição adequada da base de regras *fuzzy* foi muito importante para o desenvolvimento deste trabalho, com uma boa definição de regras foi possível detectar corretamente a presença de obstruções nas vias aéreas em 100% dos experimentos em ambiente real, conforme foi mostrado no Capítulo 4.

Ressalta-se que dos dados utilizados para testes durante o desenvolvimento desse sistema, nem todos foram capturados de pacientes disfágicos, uma vez que utilizou-se de capturas e obstruções simuladas para verificação da aplicabilidade, e prototipação do algoritmo.

Pode-se considerar também as vantagens de utilizar *M-Health* com relação ao desenvolvimento de dispositivos de monitoramento remoto de pacientes. Observou-se que, para o monitoramento remoto dos pacientes com disfagia, um dispositivo *M-Health* é capaz de atuar satisfatoriamente.

O aplicativo *mobile* foi desenvolvido para *smartphones* Android. Desse modo, pode-se citar uma limitação do sistema, como o uso do aplicativo *mobile* é limitado apenas para dispositivos Android, excluindo a possibilidade de instalação em dispositivos que não possuem esse sistema.

A Interface Web por sua vez, foi desenvolvida para funcionar em qualquer plataforma Web, o que permite que ela funcione em qualquer navegador desde que o dispositivo esteja conectado à Internet, o que exclui outras limitações à sua utilização.

Vê-se então uma complementação dos sistemas de Moreira (2015) e Barbalho (2018), acrescentando de uma função de fundamental importância para o monitoramento de pacientes condicionados à disfagia que é a detecção de obstruções. Além da melhoria na interface Web, requisito importante para a visualização dos dados por parte do profissional de saúde.

Como trabalhos futuros, pode-se citar:

- Realização de novos testes, em um número maior de pacientes, a fim de refinar ainda mais o módulo *fuzzy* do sistema;

- 
- Verificação da confiabilidade dos dispositivos de transferência de dados;
  - Implementação da transferência direta dos dados do *device* ao servidor;
  - Identificação de outras funções fisiológicas, como por exemplo, a fala;
  - Miniaturização e automatização do *device*, a fim de diminuir ainda mais a interferência do usuário;
  - Implementar o envio de notificações pelos profissionais de saúde ao dispositivo móvel, a fim de auxiliar o paciente sobre o seu tratamento;
  - Calibrar o módulo *fuzzy* para monitoramento de outras patologias relacionadas ao som e movimento mandibular, como por exemplo, o bruxismo.

# Referências

- ATA. *American Telemedicine Association - ATA: what is telemedicine & telehealth?* Washington, 2007.
- BARBALHO, I. M. P. *Equipamento médico assistencial para monitoramento da ingestão de alimentos*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2018.
- BHATTACHARYYA, S. *A DIY Guide to Telemedicine for Clinicians*. Haryana: Springer, 2017. ISBN 978-981-10-5305-4.
- BI, Y. et al. Autodietary: A wearable acoustic sensor system for food intake recognition in daily life. *IEEE Sensors Journal*, IEEE, v. 16, n. 3, p. 806–816, 2016.
- CARVALHO-SILVA, L. B. d. *Distúrbios da Deglutição: Receitas e Viscosidades*. [S.l.]: Editora Rubio, 2015.
- CHIOCCA, J. et al. Prevalence, clinical spectrum and atypical symptoms of gastro-oesophageal reflux in argentina: a nationwide population-based study. *Alimentary pharmacology & therapeutics*, Wiley Online Library, v. 22, n. 4, p. 331–342, 2005.
- CONSULTING, V. W. mhealth for development: the opportunity of mobile technology for healthcare in the developing world. *Washington Dc and Berkshire, UK*, 2009.
- CORIOLOANO, M. d. G. W. d. et al. Monitorando a deglutição através da eletromiografia de superfície. *Revista CEFAC*, v. 12, n. 3, 2010.
- COX, E. *The Fuzzy Systems Handbook: A Practitioner's Guide to Building, Using, and Maintaining Fuzzy Systems*. San Diego, CA, USA: Academic Press Professional, Inc, 1994. ISBN 0-12-194270-8.
- CRARY, M. A. A direct intervention program for chronic neurogenic dysphagia secondary to brainstem stroke. *Dysphagia*, Springer, v. 10, n. 1, p. 6–18, 1995.
- CUENCA, R. M. et al. Síndrome disfágica dysphagic syndrome. *ABCD: Arquivos Brasileiros de Cirurgia Digestiva*, Directory of Open Access Journals, São Paulo, v. 20, n. 2, p. 116–118, 2007.
- DAWN, D. et al. *Current Treatment in Gastroenterology*, Current Science Inc., Mayo Clinic College of Medicine, 4500 San Pablo Road, Jacksonville, USA, v. 7, p. 251–258, 2004. ISSN 1092-8472.
- DIAS, K. N. et al. A novel ios m-health application to assist the hospital-acquired pneumonia diagnosis and treatment. *IEEE latin america transactions*, IEEE, v. 14, n. 3, p. 1335–1342, 2016.
- ESTEVEVES, G. P. et al. Configurable portable/ambulatory instrument for the analysis of the coordination between respiration and swallowing. In: IEEE. *2010 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology*. [S.l.], 2010. p. 90–93.

- EYSENBACH, G.; CONSORT-EHEALTH, G. Consort-ehealth: improving and standardizing evaluation reports of web-based and mobile health interventions. *Journal of medical Internet research*, JMIR Publications Inc., v. 13, n. 4, 2011.
- FAVA, P. et al. Tecnologia móvel para a saúde: Práticas fundamentais para implementadores de rrc. FAO/COOPI, 2014.
- FENG, D. D. *Biomedical information technology*. [S.l.]: Academic Press, 2011.
- FIGUEIREDO, C. M.; NAKAMURA, E. Computação móvel: Novas oportunidades e novos desafios. 2003. Disponível em: <<https://goo.gl/8HWu2S>>. Acesso em: 2019.
- FRENG, I. L. et al. *Mobile Communications for Medical Care*. Cambridge, 2011. Disponível em: <<http://www.csap.cam.ac.uk/media/uploads/files/1/mobile-communications-for-medical-care-final-report.pdf>>. Acesso em: 2019.
- GRECO, C. S.; NUNES, L. G.; MELO, P. L. Instrumentation for bedside analysis of swallowing disorders. In: IEEE. *2010 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology*. [S.l.], 2010. p. 923–926.
- HAYKIN, S. *Redes neurais: princípios e prática*. [S.l.]: Bookman Editora, 2007.
- IEC. Programmable controllers (iec 61131-7: Part 7). Fuzzy Control Programming, 2000.
- JANTZEN, J. Design of fuzzy controllers. *Technical University of Denmark, Department of Automation, Bldg*, v. 326, p. 362–367, 1998.
- KARKOS, P. et al. Current evaluation of the dysphagic patient. *Hippokratia*, Hippokratio General Hospital of Thessaloniki, v. 13, n. 3, p. 141, 2009.
- KREKELER, B. N. et al. Patient adherence to dysphagia recommendations: a systematic review. *Dysphagia*, Springer, v. 33, n. 2, p. 173–184, 2018.
- LARMAN, C. *Utilizando UML e Padrões: Uma Introdução à Análise e ao Projeto Orientados a Objetos*. 2. ed. [S.l.]: Bookman, 2004.
- LIN, L.-C. et al. Prevalence of impaired swallowing in institutionalized older people in taiwan. *Journal of the American geriatrics society*, Wiley Online Library, v. 50, n. 6, p. 1118–1123, 2002.
- MALAGELADA, J. et al. Diretrizes e cascatas mundiais. 2014.
- MALDONADO, J. M. S. de V.; MARQUES, A. B.; CRUZ, A. Telemedicina: desafios à sua difusão no brasil. *Cad. Saúde Pública, Rio de Janeiro*, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/0102-311X00155615>>. Acesso em: 2019.
- MAMDANI, E. H. Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant. In: IET. *Proceedings of the institution of electrical engineers*. [S.l.], 1974. v. 121, n. 12, p. 1585–1588.
- MARAJ, A.; SHATRI, B.; RUGOVA, S. *Selection of Defuzzification method for routing metrics in MPLS network to obtain better crisp values for link optimization*. In: CITESEER. *Proceedings of the 7th WSEAS International Conference on System Science and Simulation in Engineering (ICOSSSE 2008)*. 2008. p. 200–205. ISBN 978-960-474-027-7. Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1562259.1562297>>. Acesso em: 2019.

- MARTINS, D. L. *Arquitetura de controladores Fuzzy em redes Foundation Fieldbus*. Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Computação - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011.
- MATHWORKS, I. The language of technical computing. 2017. Disponível em: <[www.mathworks.com/products/matlab/](http://www.mathworks.com/products/matlab/)>. Acesso em: 2019.
- MATSUO, K.; PALMER, J. B. Anatomy and physiology of feeding and swallowing: normal and abnormal. *Physical medicine and rehabilitation clinics of North America*, Elsevier, v. 19, n. 4, p. 691–707, 2008.
- MEDEIROS, R. A. d. *Sistema inteligente de monitoramento da prevenção do pé diabético*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2015.
- MOREIRA, I. A. T. *Sistema de Monitoramento Contínuo da Ingestão de Alimentos*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2015.
- MOZELLI, L. A. *Controle fuzzy para sistemas takagi-sugeno: Condições aprimoradas e aplicações*. Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brasil, 2008.
- NACHABE, L. et al. M-health application for neonatal incubator signals monitoring through a coap-based multi-agent system. In: IEEE. *2015 International Conference on Advances in Biomedical Engineering (ICABME)*. [S.l.], 2015. p. 170–173.
- OLIVEIRA, J. F. F. d.; SOUZA, J. A. d. et al. Mastigação: avaliação clínica, textura alimentar e tendências tecnológicas. *Revista Brasileira de Ciências da Saúde*, v. 20, n. 2, p. 163–166, 2016.
- OLIVEIRA, L. C. S. d. et al. Identificação das mudanças na mastigação e deglutição de indivíduos submetidos à glossectomia parcial identification of chewing and swallowing changes in individuals submitted to partial glossectomy. *Revista da Sociedade Brasileira de Fonoaudiologia*, Directory of Open Access Journals, v. 13, n. 4, p. 338–343, 2008. ISSN 1516-8034.
- ORACLE, C. Obtenha informações sobre a tecnologia java. 2019. Disponível em: <[https://www.java.com/pt\\_BR/about/](https://www.java.com/pt_BR/about/)>.
- ORACLE, C. *MySQL about*. 2019. Disponível em: <<https://www.mysql.com/about/>>.
- ORTIZ, K. Z. *Distúrbios neurológicos adquiridos: fala e deglutição*. Barueri: Manole, 2006.
- PADOVANI, A. R. et al. Protocolo fonoaudiológico de avaliação do risco para disfagia (pard) dysphagia risk evaluation protocol. *Rev Soc Bras Fonoaudiol*, SciELO Brasil, v. 12, n. 3, p. 199–205, 2007.
- PASSINO, K. M.; YURKOVICH, S. *Fuzzy Control*. Boston, MA, USA: AddisonWesley Longman Publishing Co., Inc., 1997. v. 1. ISBN 020118074X.
- PÄSSLER, S.; FISCHER, W.-J. Acoustical method for objective food intake monitoring using a wearable sensor system. In: IEEE. *2011 5th International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare (PervasiveHealth) and Workshops*. [S.l.], 2011. p. 266–269. ISSN 2153-1633.

- PEDRYCZ, W.; GOMIDE, F. *An introduction to fuzzy sets: analysis and design*. [S.l.]: Mit Press, 1998.
- PEREIRA, A. A. *Avaliação da qualidade da água: proposta de um novo índice alicerçado na lógica fuzzy*. Tese (Doutorado) — Universidade de Brasília, Brasília, DF, Brasil, 2010.
- RUSSELL, S.; NORVIG, P. *Inteligência artificial: uma abordagem moderna*. ed. *Campus, 2ª Edição*. São Paulo, Brazil, 2003.
- SACONATO, M.; GUEDES, Z. C. F. Estudo da mastigação e da deglutição em crianças e adolescentes com sequência de möbius. *Revista da Sociedade Brasileira de Fonoaudiologia*, Sociedade Brasileira de Fonoaudiologia, 2009.
- SAITOH, E. et al. *Dysphagia Evaluation and Treatment*. [S.l.]: Springer, 2018.
- SANTOS, J. F. *Sistema inteligente fuzzy para auxílio ao diagnóstico de níveis de risco da gestação integrado à plataforma de telemedicina preneonatal*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2015.
- SANTOS, L. A. d. *Eficácia e importância da avaliação clínica da deglutição*. 2015.
- SANTOS, R. S.; MACEDO-FILHO, E. D. Sonar doppler como instrumento de avaliação da deglutição. *Arq Int Otorrinolaringol*, v. 10, n. 3, p. 182–191, 2006.
- SCHMEIL, M. A. Saúde e tecnologia da informação e comunicação. *Fisioterapia em movimento*, SciELO Brasil, v. 26, n. 3, p. 477–478, 2013.
- SHAW, I. S.; SIMÕES, M. G. Controle e modelagem fuzzy. 165 p. *Editora Edgard Blücher, São Paulo*, 1999.
- SIZILIO, G. R. M. A. *Método Fuzzy para auxílio ao diagnóstico de câncer de mama em ambiente inteligente de telediagnóstico colaborativo para apoio à tomada de decisão*. Tese (Doutorado) — Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, Brasil, 2012.
- SOMMERVILLE, I. *Engenharia de Software, 9a*. São Paulo, Brasil: Pearson, 2011. ISBN 978-85-7936-108-1.
- SPADOTTO, A. A. et al. Oropharyngeal dysphagia identification using wavelets and optimum path forest. In: IEEE. *2008 3rd International Symposium on Communications, Control and Signal Processing*. [S.l.], 2008. p. 735–740.
- STEINWART I.; CHRISTMANN, A. Support vector machines. [s.l.]. Springer Science & Business Media, 2008.
- TILKOV, S.; VINOSKI, S. Node. js: Using javascript to build high-performance network programs. *IEEE Internet Computing*, IEEE, v. 14, n. 6, p. 80–83, 2010.
- TURLEY, R.; COHEN, S. Impact of voice and swallowing problems in the elderly. *Otolaryngology—Head and Neck Surgery*, SAGE Publications Sage CA: Los Angeles, CA, v. 140, n. 1, p. 33–36, 2009.
- VALENZA, G. et al. *Advanced technology meets mental health: How smartphones, textile electronics, and signal processing can serve mental health monitoring, diagnosis, and treatment*. *IEEE Pulse*, v. 5, n. 3, p. 56–59, May 2014. ISSN 2154-2287.

- WANG, D. X. *A course in Fuzzy Systems and control*. New Jersey: Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River, 1996.
- WHO. *Telemedicine: opportunities and developments in Member States: report on the second global survey on eHealth 2009*. *Global Observatory for eHealth Series*, v. 2, 2010. Disponível em: <[http://www.who.int/goe/publications/goe\\_telemedicine\\_2010.pdf](http://www.who.int/goe/publications/goe_telemedicine_2010.pdf)>. Acesso em: 2019.
- WHO. *mhealth: New horizons for health through mobile technologies: second global survey on ehealth*. World Health Organization, 2011. v. 3. ISBN 978-92-4-156425-0. Disponível em: <[https://www.who.int/goe/publications/goe\\_mhealth\\_web.pdf](https://www.who.int/goe/publications/goe_mhealth_web.pdf)>. Acesso em: 2019.
- WHO. *Global diffusion of eHealth: making universal health coverage achievable*. Geneva: World Health Organization, 2016. ISBN 978-92-4-151178-0. Disponível em: <<http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/252529/1/9789241511780-eng.pdf>>. Acesso em: 2019.
- WINSTON, P. *Artificial Intelligence*. [S.l.]: Addison Wesley, 1992.
- YAGI, N. et al. A noninvasive swallowing measurement system using a combination of respiratory flow, swallowing sound, and laryngeal motion. *Medical & biological engineering & computing*, Springer, v. 55, n. 6, p. 1001–1017, 2017.
- ZADEH, L. A. Fuzzy sets. *Information and control*, Elsevier, v. 8, n. 3, p. 338–353, 1965.

# Apêndices

# APÊNDICE A – Produção Científica

Durante o desenvolvimento deste trabalho algumas pesquisas foram submetidas para eventos na área de Ciência da Computação. Os resultados obtidos foram:

- **Titulo:** *Specialist system for the identification of obstructions during the food intake process.*

**Autores:** Exlley C. dos Santos, Cicilia R. M. Leite, Cynthia M. Maia e Christina Pacheco.

**Veículo:** *41st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC) (Qualis: B1).*

**Resultado:** Aceito.

- **Titulo:** Sistema Inteligente para identificação de obstruções nas vias aéreas durante o processo de mastigação e ingestão de alimentos.

**Autores:** Exlley C. dos Santos, Cicilia R. M. Leite e Ingridy M. P. Barbalho.

**Veículo:** *Computer on the Beach (COTB) (Qualis: B4).*

**Resultado:** Submetido.

- **Titulo:** Desenvolvimento de um sistema para identificação de obstruções durante o processo de ingestão de alimentos.

**Autores:** Exlley C. dos Santos, Cicilia R. M. Leite e Ingridy M. P. Barbalho.

**Veículo:** Simpósio Brasileiro de Computação Aplicada à Saúde (SBCAS).

**Resultado:** Submetido.