

Paulo Rodrigues Gomes

**Sistema de laudos de eletrocardiograma:
a importância de ferramentas de suporte à
decisão**

Universidade Federal de Minas Gerais
Faculdade de Medicina
Programa de Pós-Graduação em Ciências da
Saúde: Infectologia e Medicina Tropical

Belo Horizonte – MG

Paulo Rodrigues Gomes

Sistema de laudos de eletrocardiograma: a importância de ferramentas de suporte à decisão

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde: Infectologia e Medicina Tropical da Faculdade de Medicina da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de mestre.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Luiz Pinho Ribeiro

Belo Horizonte

Gomes, Paulo Rodrigues.
G633s Sistema de laudos de eletrocardiograma [manuscrito]: a importância de ferramentas de suporte à decisão. / Paulo Rodrigues Gomes. -- Belo Horizonte: 2021.
97f.: il.
Orientador (a): Antônio Luiz Pinho Ribeiro.
Área de concentração: Infectologia e Medicina Tropical.
Dissertação (mestrado): Universidade Federal de Minas Gerais, Faculdade de Medicina.

1. Eletrocardiografia. 2. Tomada de Decisões. 3. Sistemas de Informação. 4. Dissertação Acadêmica. I. Ribeiro, Antônio Luiz Pinho. II. Universidade Federal de Minas Gerais, Faculdade de Medicina. III. Título.

NLM: WG 140

Bibliotecário responsável: Fabian Rodrigo dos Santos CRB-6/2697



FOLHA DE APROVAÇÃO

"Sistema de laudos de eletrocardiograma: a importância de ferramentas de suporte à decisão"

PAULO RODRIGUES GOMES

Dissertação submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Ciências da Saúde pelo Programa de Pós-Graduação em CIÊNCIAS DA SAÚDE - INFECTOLOGIA E MEDICINA TROPICAL.

Aprovada em 11 de setembro de 2020, pela banca constituída pelos membros:

Prof. Antonio Luiz Pinho Ribeiro - Orientador
UFMG

Prof. Bruno Ramos Nascimento
UFMG

Prof. Wagner Meira Junior
UFMG

Belo Horizonte, 11 de setembro de 2020.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Reitora

Prof^a. Sandra Regina Goulart Almeida

Vice-Reitor

Prof. Alessandro Fernandes Moreira

Pró-Reitor de Pós-Graduação

Prof. Fábio Alves da Silva Júnior

Pró-Reitor de Pesquisa

Prof. Mario Fernando Montenegro Campos

FACULDADE DE MEDICINA

Diretor

Prof. Humberto José Alves

Vice-Diretora

Prof^a. Alamanda Kfoury Pereira

Chefe do Departamento de Clínica Médica

Prof^a. Valéria Maria Augusto

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFECTOLOGIA E MEDICINA TROPICAL

Coordenador do Centro de Pós- Graduação:

Prof. Tarcizo Afonso Nunes

Subcoordenadora do Centro de Pós-Graduação:

Prof^a. Eli Iola Gurgel

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde:

Infectologia e Medicina Tropical:

Prof. Eduardo Antônio Ferraz Coelho

Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde

Infectologia e Medicina Tropical:

Prof. Antonio Luiz Pinho Ribeiro

Prof. Daniel Vitor de Vasconcelos Santos

Prof^a. Denise Utsch Gonçalves

Prof. Eduardo Antônio Ferraz Coelho

Prof. Unai Tupinambás

Prof. Vandack Alencar Nobre Jr

Thaís Teodoro de Oliveira Santos – Representante Discente

*Para minha família por sempre estarem ao meu lado.
Para todos que caminharam e ainda caminham comigo.*

Agradecimentos

A toda equipe do Centro de Telessaúde de Minas Gerais pela oportunidade de juntos criarmos essa ferramenta e aprimoramos os serviços de Telessaúde no estado de Minas Gerais. Em especial, ao professor Tom, pela orientação, incentivo e inspiração para a carreira acadêmica;

Aos meus colegas de trabalho do Hospital das Clínicas por terem me acolhido e me propiciado um ambiente no qual pude crescer como pessoa e profissional;

À equipe do projeto CODE, pelas experiências compartilhadas e adquiridas;

À coordenação, aos professores e colegas do Programa de Pós-Graduação em Infectologia e Medicina Tropical da UFMG, pelo convívio e compartilhamento de saberes.

*“Não precisamos apagar a luz do próximo
para que a nossa brilhe.”*

(Bernard Mannes Baruch)

RESUMO

Introdução: O eletrocardiograma (ECG) é um exame de baixo custo, fácil acesso e não invasivo, que faz parte da avaliação inicial do paciente na investigação de cardiopatia. Para o laudo eletrocardiográfico, é necessário conhecimento especializado e treinamento adequado. Apesar do desenvolvimento de sistemas voltados ao gerenciamento de ECG, encontramos poucos estudos que avaliam o uso de ferramentas de auxílio para a tomada de decisão médica no laudo. Em um serviço de tele-eletrocardiografia que recebe em média 3.000 exames por dia, a inclusão de árvores de decisões automatizadas pode auxiliar o especialista e reduzir o erro médico.

Objetivos: Desenvolver e implementar o sistema de laudos de ECG da Rede de Teleassistência de Minas Gerais (RTMG) e avaliar seu impacto na taxa de discordância entre os laudos médicos pela auditoria após a incorporação de ferramentas de tomada de decisão no software.

Métodos: Um novo sistema de análise do ECG foi idealizado e construído para auxiliar o especialista e atender as necessidades da ampliação da RTMG. Para isso, foi desenvolvida uma solução web, que utiliza de recursos de sistemas de suporte à decisão (SAD), esta restringe o acesso a diagnósticos que não possuem seus requisitos atendidos, além de avaliar as medidas do ECG e alertar eventuais anormalidades. O sistema gera um laudo descritivo baseado nos diagnósticos selecionados, para isso foi criado um padrão de nomenclatura que permitisse a combinação de vários diagnósticos em um mesmo exame. O SAD foi construído com o diferencial de seguir o processo de raciocínio clínico do especialista, de forma a complementar suas ações no processo de avaliação do exame.

Resultados: Foi desenvolvido um sistema de ECG que faz parte de uma complexa plataforma de Teleassistência. Além das ferramentas de medição do traçado, o sistema disponibiliza medidas automáticas que em caso de anormalidade, notificam o especialista. Para definição do diagnóstico, o sistema utiliza uma lista hierárquica de classes, baseada em padronizações AHA/ACC/HRS/ISCE, que possuem regras intrínsecas que define se ela pode ou não ser selecionada. Um laudo descritivo completo é gerado automaticamente com base nos diagnósticos selecionados. O sistema foi testado exaustivamente e refinado até ficar pronto em maio de 2018, e é avaliado constantemente através de auditorias periódicas realizadas por um cardiologista sênior. Mais de 1.000.000 de ECG foram analisados após a implantação do novo sistema. A base de validação é composta de 4313 auditorias no sistema antigo e 2213 no novo. A taxa de discordância é de 14,7% (Q1-Q3: 11,0-17,3), no sistema antigo (2015-2017) e 8,6% (7,2-9,5) no sistema novo (2018-2019), com p-valor = 0,004.

Conclusão: Um novo sistema de laudos de ECG em plataforma Web com ferramentas de tomada de decisão foi desenvolvido e implementado na RTMG. A implantação do novo sistema se associou a uma redução na taxa de discordância entre os laudos médicos.

Palavras-chave: eletrocardiograma, tomada de decisão, sistemas de informação.

ABSTRACT

Introduction: The electrocardiogram (ECG) is a low-cost, easy to access and non-invasive test that is a screening exam for heart disease. For the electrocardiographic report, specialized knowledge and adequate training are required. Despite the development of systems aimed at ECG management, the use of assistive tools for medical decision-making in the report was rarely addressed. In a tele-electrocardiography service that reports an average of 3,000 exams per day, the inclusion of automated decision trees can help and reduce medical errors.

Objectives: To present the ECG reporting system developed in the Telehealth Network of Minas Gerais (TNMG) and evaluate its impact on the rate of disagreement between medical reports by the audit after the incorporation of decision-making tools in the software.

Methods: A new ECG analysis system was designed and built to assist the specialist and meet the need to expand the RTMG. For this, a web solution was developed, which uses resources from decision support systems (DSS), this restricts access to diagnostics that do not have their requirements met, in addition to evaluating ECG measurements and alerting abnormalities. The system generates a descriptive report based on the selected diagnoses, for this purpose a nomenclature standard was created that allows a combination of several diagnoses in the same exam. The DSS was built with the differential of following the specialist's clinical reasoning process, in order to complement his actions in the examination evaluation process.

Results: An ECG system was developed that is part of a complex Teleassistance platform. In addition to the tracing measurement tools, the system provides automatic measurements that, in case of abnormality, notify the specialist. To define the diagnosis, the system uses a hierarchical list of classes, based on AHA / ACC / HRS / ISCE standards, which have intrinsic rules that define whether or not it can be selected. A full descriptive report is automatically generated based on the selected diagnoses. The system has been extensively tested and refined until ready in May 2018, and is constantly evaluated through periodic audits by a senior cardiologist. More than 1.000.000 ECGs were analyzed after the new system was implemented. The validation base consists of 4313 audits in the old system and 2213 in the new one. The disagreement rate is 14,7% (Q1-Q3: 11,0-17,3), in the old system (2015-2017) and 8,6% (7,2-9,5) in the new system (2018-2019), with p-value = 0,004.

Conclusion: A new system of ECG reports on a Web platform with decision-making tools was developed and implemented at TNMG. It was associated with a reduction in the rate of disagreement between the medical reports.

Keywords: electrocardiogram, decision making, information systems.

LISTA DE FIGURAS

4.1. Localização do nódulo sinusal e atrioventricular (Hampton & Hampton [2019]).	26
4.2. Relação das ondas com a atividade elétrica do coração (Media [2020]).	27
4.3. Sinal do ciclo cardíaco (um batimento), composto de ondas (P,Q,R,S,T), complexo (QRS), intervalos (PR, QT) e segmentos (PR, ST) (Elgendi et al. [2014]).	29
4.4. Padrão de medição do sinal (Hampton & Hampton [2019]).	30
4.5. Exemplo de um ECG normal (Hampton & Hampton [2019]).	31
4.6. Arquitetura de um Sistema de Suporte à Decisão, adaptado (Turban et al. [2010]).	35
5.1. Fluxo de dados no Model-View-Controller	46
5.2. Representação de um autômato finito determinístico (AFD), E_x representam os nós, α e β as regras de transição.	46
5.3. Estrutura das classes e diagnósticos	54
5.4. Modelo composto de sentenças e exemplo de uma sentença segmentada.	56
5.5. Operação de adição de uma frase	57
5.6. Interface de auditoria do ECGs.	67
6.1. Interface de gestão do triagista, com dados sumarizados do momento da fila.	70
6.2. Interface de gestão do especialista, com dados da fila e dos exames avaliados até o momento.	70
6.3. Interface de controle das frases ECG.	71
6.4. Interface de alteração da frase ECG.	72
6.5. Interface de laudo ECG, componentes de medidas de frases ECG.	73
6.6. Medidas do ECG com alertas para valores fora da faixa de referência.	73
6.7. Ferramentas de medidas.	74
6.8. Laudo ECG.	75
6.9. Frase ECG bloqueada com notificação de condição.	76
6.10. Modelo de frases para o Grupo Anormal, com as respectivas	77

segmentações.

6.11. Exemplo de alteração do modelo com a adição de novas frases.	78
6.12. Laudo final.	78
6.13. Campos dinâmicos.	79
6.14. Fluxo dos processos realizados no laudo ECG.	80
6.15. Barra de atalhos para as Frase ECG.	81
6.16. Resultado da comparação entre os sistemas.	83

LISTA DE TABELAS

5.1	Padrão de sintaxe utilizada nas frases e no modelo.	60
6.1	Distribuição das auditorias no sistema antigo por bimestre	82
6.2	Distribuição das auditorias no sistema novo por bimestre	82
6.3	Sumário estatístico do conjunto de dados	83

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AFD	Autômato Finito Determinístico
CODE	Clinical Outcomes in Digital Electrocardiography
CTS-HC-UFMG	Centro de Telessaúde do Hospital das Clínicas da Universidade Federal de Minas Gerais
ECG	Eletrocardiograma
FA	Fibrilação atrial
FAPEMIG	Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais
JNLP	Java Network Launching Protocol
JRE	Java Runtime Environment
LAC	Lazy Associative Classifier
MVC	Model-View-Controller
OMS	Organização Mundial de Saúde
RTMG	Rede de Teleassistência de Minas Gerais
SAD	Sistema de Apoio à Decisão / Sistema de Suporte à Decisão
SUS	Sistema Único de Saúde

SUMÁRIO

1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	17
2. INTRODUÇÃO	21
2.1 Motivação	23
3. OBJETIVOS	24
3.1 Objetivo geral	24
3.2 Objetivos específicos	24
4. REVISÃO DA LITERATURA	25
4.1 Eletrocardiograma ECG	25
4.2 Sistemas de suporte à decisão	33
5. MATERIAL E MÉTODOS	39
5.1 Definição do sistema	39
5.1.1 Contexto inicial	40
5.1.2 Elaboração do software	41
5.1.2.1 Definições iniciais	41
5.1.2.2 Definições tecnológicas	44
5.1.2.3 Modelos e padrões	45
5.1.3 Módulo Laudo ECG	48
5.1.3.1 Medidas automáticas	48
5.1.3.2 Variáveis do ECG	49
5.1.3.3 Frases do ECG	50
5.1.3.4 Laudo descritivo automático	58
5.2 Plataforma Telessaúde	62
5.2.1 Módulo de Cadastros	63
5.2.2 Módulo de Captura do Exame	63
5.2.3 Módulo de Gestão	64
5.2.4 Módulo de Laudo	65
5.3 Análise estatística	66
5.3.1 Dados utilizados	66
5.3.2 Descrição da análise do dados	67
5.3.3 Análise estatística	68
5.4 Aspectos éticos	68
6. RESULTADO E DISCUSSÃO	69
6.1 Resultados	69
6.1.1 Sistema RTMG - TD	69
6.1.2 Interfaces e funcionalidades	72
6.1.2 Avaliação do impacto	81
6.2 Discussão	84
6.2.1 Impacto na prática clínica	84
6.2.2 Sistema de suporte à decisão	85
6.2.3 Limitações	87
6.2.4 Perspectivas futuras	87

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	89
8. CONCLUSÕES	91
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	93

1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O Centro de Telessaúde do Hospital das Clínicas da Universidade Federal de Minas Gerais foi criado em 2005 (ALKMIM et al., 2012). Em 2006 foi implementada a rede de tele-eletrocardiografia, priorizando o atendimento aos municípios remotos do estado, distantes de grandes centros, com baixo índice de desenvolvimento humano e com pequena população. O programa se expandiu para vários municípios de Minas Gerais, com novos convênios com o Ministério da Saúde e com a Secretaria do Estado da Saúde de Minas Gerais. Em 2010, a Rede de Teleassistência de Minas Gerais (RTMG) foi registrada na Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG) como uma das redes de pesquisa de Minas Gerais.

Nos últimos três anos, a RTMG aumentou a sua abrangência por meio do convênio com o Ministério da Saúde, atuando em telecardiologia em outros estados do Brasil. Atualmente, 725 dos 853 municípios de Minas Gerais além de 77 municípios na Bahia, 54 no Mato Grosso, 29 no Ceará, 11 no Acre, 6 em Roraima e 1 no Maranhão e Tocantins são contemplados pela RTMG. Mais de 4 milhões de eletrocardiogramas (ECG) foram realizados desde a sua implementação, com um número diário de, cerca de, 3000 laudos de ECG por dia. Além disso, o serviço de tele-ECG que tinha funcionamento somente em dias de semana, de 08:00 às 20:00, foi ampliado para funcionar por 24 horas durante os 7 dias da semana há quase dois anos. Para isso, como ferramenta principal, foi idealizado e construído, pela equipe multidisciplinar do CTS-HC-UFMG, um sistema que recebe e registra o exame realizado pelo profissional de saúde em sua localidade remota. Esse exame é armazenado no CTS-HC-UFMG e

adicionado a uma fila de prioridade, na qual uma equipe de cardiologistas avalia e realiza o diagnóstico de cada um dos exames, e disponibiliza o resultado ao profissional que o realizou (Soriano Marcolino et al. [2016]).

Os laudos do ECG, de 2006 até abril de 2018, eram realizados em forma de texto-livre. Cada cardiologista tinha um arquivo próprio de modelos de laudos salvos no sistema, com pouca padronização. Além disso, o sistema não realizava medidas automáticas das ondas, intervalos e duração dos complexos do ECG. Dessa forma, havia uma heterogeneidade entre laudos da mesma anormalidade eletrocardiográfica, além da ausência das medidas eletrocardiográficas na descrição de alguns exames.

Para a realização de pesquisa com os dados dos laudos médicos, têm sido usados “softwares” de Inteligência Artificial, como o *Lazy Associative Classifier* (LAC), para agrupar e classificar as informações de cada laudo (Ribeiro et al. [2019]; Veloso et al. [2006]). A conclusão do laudo médico é, inicialmente, tratada com a retirada das “*stopwords*” (palavras irrelevantes), como: a, as, os, de, com, sem e para. Posteriormente, gera-se n-gramas. Os resultados, após processamento no LAC, são submetidos a algoritmos de decisões para a obtenção final das classes diagnósticas (Veloso et al. [2011]). Esses algoritmos são treinados, usando a base de dados original. Os resultados apresentam para grande maioria das classes, possuem alto valor de acurácia, sensibilidade e especificidade, o que torna a abordagem eficiente, porém foi necessário muito trabalho para chegar ao resultado atual. A realização de laudos utilizando de categorias padronizadas de forma estruturada, seria capaz de eliminar a necessidade de todo esse processamento para avaliar a classe final do exame.

Diante do avanço da RTMG e do aumento do número de laudos de ECG

por dia, tornou-se necessária a mudança do sistema de laudo de ECG. Uma padronização na descrição dos laudos, bem como a inclusão de medidas automáticas eram mandatórias para um serviço mais ágil e eficiente. Um sistema com classes diagnósticas de ECG bem definidas, com descrição do laudo completa e de acordo com as recomendações das diretrizes de ECG (Pastore et al. [2016]), além de armazenamento automático das informações dos laudos, precisava ser desenvolvido e implementado na RTMG.

Para isso, todo o sistema foi reformulado, idealizado e construído pela equipe multidisciplinar do Centro de Telessaúde do Hospital das Clínicas da Universidade Federal de Minas Gerais (CTS-HC-UFMG). Foram realizadas basicamente duas abordagens para definição do sistema. Na primeira, foi definida uma sequência de passos obrigatória ao qual o especialista deveria executar para concluir a avaliação do exame, o que tornaria o laudo padronizado e aumentaria a qualidade das informações entregues ao responsável pelo paciente. Houve um grande esforço inicial nessa etapa para reformular o sistema (de uma aplicação Desktop para Web), além da integração com sistemas externos (Análise automática). Porém, na primeira avaliação do sistema, todos os especialistas discordaram da versão, alegando dificuldade em utilizar o sistema e processo que não respeitava a rotina de análise do exame. Foi necessário reavaliar todo o fluxo executado no processo de avaliação para identificar qual seria a melhor abordagem para o sistema.

Um novo modelo foi então proposto, baseado no processo de laudo do cardiologista. Ao visualizar um ECG, o médico é capaz de distinguir instintivamente os achados presentes e chegar a um diagnóstico final e conclusivo (Exemplo: bloqueio de ramo). A partir desse ponto, ele valida as

características que sustentam sua decisão (Exemplo: duração do QRS). Dessa forma, o especialista, primeiramente, identifica o diagnóstico, e, posteriormente, valida as medidas e faz a descrição do mesmo, inversamente ao proposto pela literatura (Bonow et al. [2011]; Pastore et al. [2016]), que preconiza que a avaliação sistemática dos traçados e a descrição das características precedem o diagnóstico eletrocardiográfico. Diante disso, o novo modelo proposto segue o processo de avaliação do especialista, de forma a direcioná-lo ou limitá-lo, conforme as medidas eletrocardiográficas, tornando o fluxo do laudo médico mais simples e ágil.

No serviço de Telecardiologia, periodicamente são realizadas auditorias nos diagnósticos realizados pela RTMG, onde uma cardiologista sênior avalia uma amostra de diagnósticos realizados por cada um dos especialistas do serviço, para cada exame é definido se existe concordância com o especialista ou se a avaliação foi discordante. Com base nos resultados das auditorias realizadas, tanto no sistema antigo como no novo, foi possível validar a desempenho da nova versão e comprovar sua efetividade.

A dissertação se vincula à linha de pesquisa em “Telessaúde”, com objetivos comuns de melhoria do acesso e da qualidade da assistência à saúde.

2. INTRODUÇÃO

Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS), as doenças cardiovasculares são as principais causas de morte no mundo: estima-se que 17,5 milhões de pessoas morrem todos os anos de doenças cardiovasculares, fato que exige a devida atenção para as políticas de saúde pública (Vos et al. [2017]).

O ECG é um exame simples de ser realizado, não invasivo e de baixo custo, usado por profissionais de saúde de diferentes níveis, desde unidades primárias de saúde até centros de cuidado intensivo. O uso do ECG digital permite a realização de diagnósticos clínicos e epidemiológicos, com implicações em políticas de saúde (Marcolino et al. [2017]).

Na prática clínica, o ECG é laudado por um médico, mas isso requer conhecimento técnico, treinamento e tempo para avaliação do exame. Sua correta avaliação é de extrema importância não apenas para cuidados clínicos ao paciente (Marcolino et al. [2017]), mas também para estudos epidemiológicos (Chung et al. [2018]). A qualidade do sinal, as medidas de frequência cardíaca, amplitude, morfologia das ondas e duração dos intervalos e complexos (Hurst [2000]), associados aos dados clínicos, precisam ser considerados para o diagnóstico final, o que requer tempo e esforço.

O laudo deve ser descrito de maneira organizada e estruturada. Segundo as definições da “III Diretrizes da Sociedade Brasileira de Cardiologia para Análise e Emissão de Laudos Eletrocardiográficos” (Pastore et al. [2016]), o laudo deve apresentar os valores das medidas, informações sobre o ritmo, eixo, repolarização, morfologia das ondas e complexos, além da conclusão com o diagnóstico (Pastore

et al. [2016]).

A interpretação automática computadorizada do ECG foi desenvolvida como uma alternativa para facilitar o processo do laudo e a pesquisa médica. No entanto, os sistemas de interpretação automatizada não são confiáveis e podem levar ao diagnóstico incorreto (Mincholé et al. [2019]). Uma das soluções mais conhecidas na análise automática é o Software da Universidade de Glasgow (Macfarlane et al. [2005]), que recebe como entrada o sinal do exame, assim como informações de medicamentos, comorbidades e dados do paciente. O resultado gerado é um conjunto de dados contendo várias informações, como uma matriz de valores de início e fim ondas, duração e amplitude para cada derivação, resultados de cálculos escalares e vetoriais assim como uma lista de achados importantes ao exame (diagnóstico automático).

A *PhysioNet/Computing in Cardiology Challenge* (Silva et al. [2011]) reúne diversas soluções voltadas à automatização do diagnóstico e extração de informações diretamente do sinal do ECG. Anualmente, diversos desafios computacionais são lançados para aprimoramento de técnicas e algoritmos de análise, extração e classificação de ECG. Trabalhos mais recentes, têm dedicado atenção especial em definir qual o diagnóstico do exame, normalmente se limitam a apenas uma classe e não apresentam justificativa para os achados (Clifford et al. [2017]).

As informações geradas pelas análises automatizadas podem passar despercebidas ou serem ignoradas pelo especialista durante a análise do exame. Ferramentas de suporte à decisão são de grande valia a uma diversidade de processos e sistemas, podendo ser o módulo central do sistema (Harrison [1995])

e sua eficácia é comprovada em diversos estudos (Cahan & Cimino [2017], Garg et al. [2005], Maia et al. [2016], Safdar et al. [2018]). As ferramentas de suporte à decisão podem ser aplicadas ao diagnóstico eletrocardiográfico, em eventual melhora do processo e dos resultados.

Erros de diagnósticos não são incomuns, em alguns casos gerados pelas lacunas de conhecimentos, ou mesmo por características mais incomuns, ou limítrofes, fato que ressalta o uso de SADs para minimizar essas situações (Cahan & Cimino [2017]), alguns dos mais recentes utilizam recursos avançados como Aprendizado de Máquina e Redes Neurais (Safdar et al. [2018])

2.1 Motivação

O acesso aos centros especializados de saúde em determinadas regiões do Brasil nem sempre é possível em tempo hábil, devido às grandes distâncias territoriais do país. A Telessaúde surge para suprir essa situação e possibilitar atendimento rápido a pacientes em localidades remotas.

Em um serviço de tele-eletrocardiografia com um alto volume de ECG, é desejável que se utilize um sistema de laudos que possua ferramentas confiáveis para uma análise completa do exame. Tal sistema permitiria agilizar e melhorar a qualidade dos laudos, assim como antecipar os cuidados clínicos a pacientes em situação de risco de vida. A proposta visa trazer melhoria na qualidade do serviço prestado às unidades básicas de saúde, impactando positivamente nos cuidados e assistência dos pacientes, principalmente dos mais carentes.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

- Desenvolver, validar, implementar e avaliar um sistema para avaliação de exames eletrocardiográficos que seja capaz de atender as demandas de um serviço com alto fluxo de exames, utilizando um laudo categórico, de acordo com as melhores diretrizes da área, que seja estruturado, descritivo e completo.

3.2 Objetivos específicos

- Criar o sistema de frases estruturado baseado nas diretrizes de ECG.
- Integrar recursos de SAD ao módulo de avaliação do exame
- Criar sistema que gere o laudo descritivo do exame de forma automatizada com base nos diagnósticos escolhidos pelo cardiologista.
- Avaliar e mensurar o desempenho do sistema em relação ao serviço prestado por meio da análise estatística dos resultados das auditorias periódicas.

4. REVISÃO DA LITERATURA

4.1 Eletrocardiograma ECG

O coração é um órgão muscular oco constituinte do sistema cardiovascular é responsável pelo bombeamento cíclico do sangue permitindo a sua circulação pelo corpo, é composto por quatro câmaras, que do ponto de vista elétrico, podem ser consideradas apenas dois, dois átrios e dois ventrículos. A alteração do gradiente de concentração iônica ao longo das membranas celulares, resulta na determinação de um potencial extracelular, que excita as células contráteis das aurículas e dos ventrículos, resultando na propagação do impulso elétrico (Hampton & Hampton [2019]; Yelshyna & Costa [2015]).

A célula do miocárdio em repouso (polarizada) tem elevada concentração de potássio, apresentando-se negativa em relação ao meio externo, que tem elevada concentração de sódio. Esta diferença de potencial se manifesta pela polarização da membrana da fibra cardíaca, que é carregada negativamente na sua porção intracelular e positivamente na porção extracelular. A ativação celular decorre de trocas iônicas que tornam o meio intracelular positivo, enquanto o meio extracelular fica negativo. A célula totalmente despolarizada fica com a polaridade invertida. A repolarização fará com que a célula volte às condições basais. Uma onda gradual de despolarização pode ser considerada como uma onda móvel de cargas positivas. Assim, quando a onda positiva de despolarização se move em direção a um eletrodo (positivo), regista-se no ECG uma deflexão positiva (para cima). Por outro lado, quando a onda tiver sentido contrário (a onda de despolarização vai-se afastando do eléctrodo), tem-se uma deflexão negativa no ECG (Ramos & Sousa

[2007]).

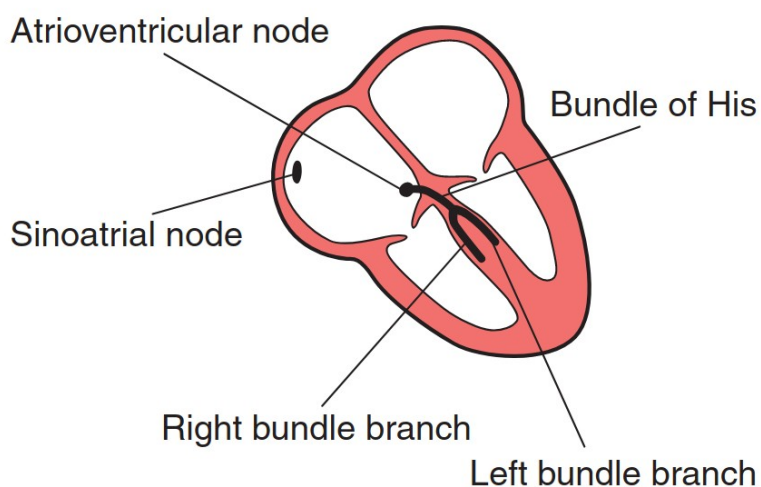


Figura 4.1. Localização do nódo sinusal e atrioventricular (Hampton & Hampton [2019]).

O nódo sinusal localizado no átrio direito (Figura 4.1) é a origem do estímulo de despolarização cardíaca, quando o impulso elétrico se difunde em ambos os átrios de forma concêntrica, em todas as direções, e produz a onda P no ECG. À medida que essa onda de despolarização passa através dos átrios, processa-se a contração auricular. A seguir, a onda de despolarização dirige-se ao nódo atrioventricular (AV), onde ocorre um alentecimento da condução do estímulo, o que permite a entrada no sangue nos ventrículos. Este intervalo é representado pelo segmento P-R. (Ramos & Sousa [2007]) (Figura 4.2).

Após essa pausa, o impulso elétrico passa pelo nódo AV, que é um retransmissor do impulso elétrico para os ventrículos, através do feixe atrioventricular (feixe His), com seus ramos direito e esquerdo, e das fibras de Purkinje, tendo como consequência a contração dos ventrículos. Essa despolarização ventricular forma várias ondas, chamadas de complexo QRS

(Ramos & Sousa [2007]) (Figura 4.2).

Existe uma pausa após o complexo QRS, representado pelo segmento ST, de grande importância na identificação da isquemia cardíaca e, após essa pausa, ocorre a repolarização do ventrículo, formando a onda T, que corresponde ao relaxamento ventricular. A onda T tem menor amplitude e é mais larga que o complexo QRS, porque a repolarização ocorre mais lentamente que a despolarização. A repolarização atrial não tem expressão eletrocardiográfica, pois está mascarada sob a despolarização ventricular que, eletricamente, tem uma voltagem maior em relação à repolarização atrial (Ramos & Sousa [2007]) (Figura 4.2).

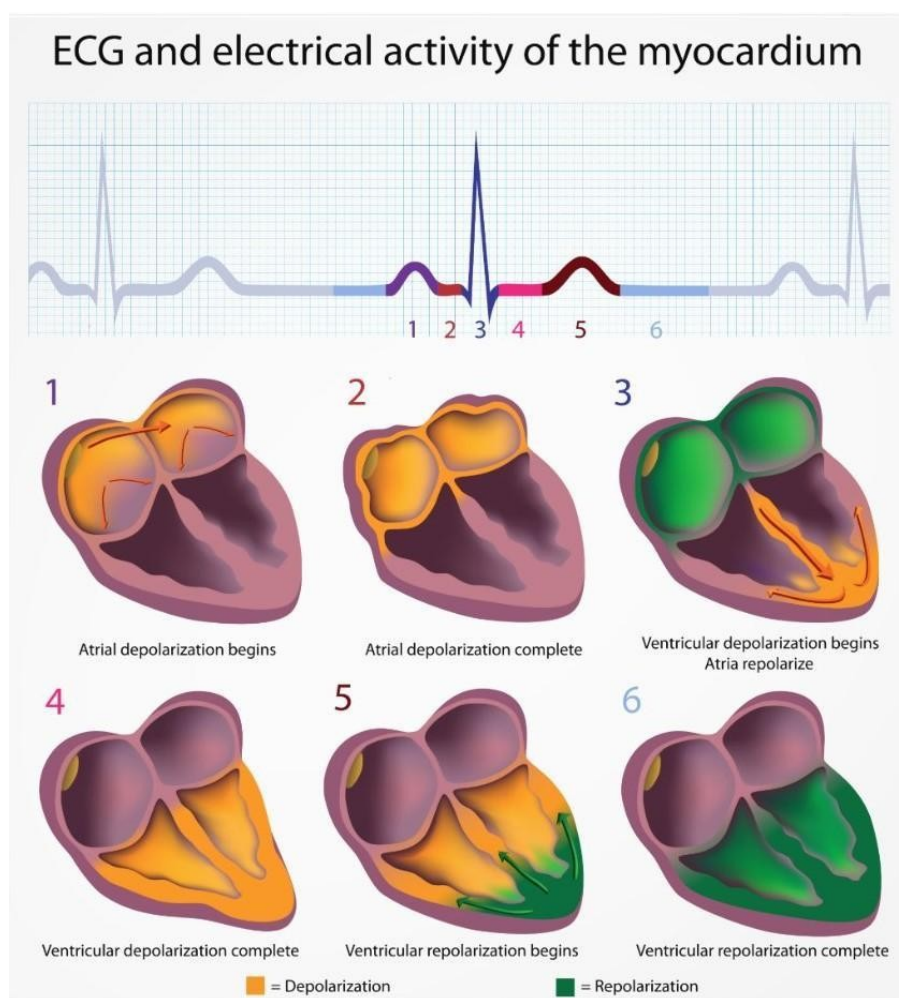


Figura 4.2. Relação das ondas com a atividade elétrica do coração (Media [2020]).

Em 1902, Willen Einthoven idealizou um aparelho para registrar as correntes elétricas que se originam no coração. Surgiu o eletrocardiógrafo e o eletrocardiograma. Nesses mais de cem anos, tanto os aparelhos quanto a própria metodologia de interpretação se modernizaram, com novos métodos de registro e mudanças nos aparelhos, com miniaturização e digitalização dos eletrocardiógrafos. Surgiram novas aplicações, fazendo com que o eletrocardiograma continue sendo um exame de extrema importância, de fácil manuseio, reproduzível e de baixo custo operacional (Dijk & van Loon [2006]).

O ECG de 12 derivações é uma das ferramentas mais usadas na avaliação de doenças cardiológicas. O exame utiliza aparelhos específicos que coletam e armazenam o sinal elétrico emitido pelo coração durante seu ciclo (Cairns et al. [2017]). Cada aparelho possui configurações diferentes, porém todos eles armazenam e processam o sinal ponto-a-ponto.

O exame constitui-se do registro das seguintes derivações, seis do plano elétrico frontal: as derivações periféricas D1, D2, D3 (bipolares ou “standards”), aVR, aVL e aVF (unipolares), e seis do plano elétrico horizontal: as derivações precordiais V1 a V6 (unipolares). Existe uma correlação entre a região ventricular esquerda estudada e as derivações:

- Região lateral alta: D1-aVL.
- Região inferior: D2-D3-aVF.
- Região anterior extensa: V1 a V6, D1-aVL.
- Região ântero-septal: V1 a V4.

- Região ântero-lateral: V4 a V6, D1- aVL.

Em situações especiais podem-se acrescentar mais derivações, as cardíacas direitas que exploram o ventrículo direito (VD), V3R a V6R, e as cardíacas posteriores que exploram a parede posterior do ventrículo esquerdo (VE), V7 e V8 (Feldman & Goldwasser [2004]).

O sinal do ECG é a representação temporal do funcionamento do coração, que varia no tempo (frequência) e na altura (amplitude). Cada batimento é composto basicamente de três componentes principais (Figura 4.2 e 4.3):

- Onda P - está relacionada com a despolarização auricular
- Complexo QRS - representa a despolarização ventricular que leva a contração dos ventrículos
- Onda T - repolarização ventricular (relaxamento do músculo ventricular)

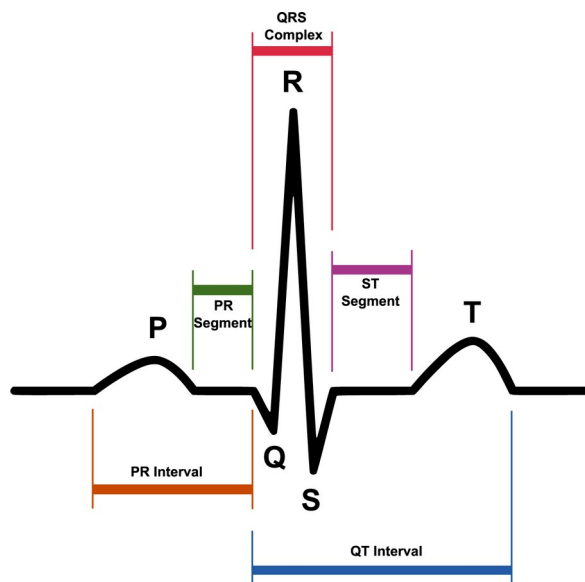


Figura 4.3. Sinal do ciclo cardíaco (um batimento), composto de ondas (P, Q, R, S, T), complexo (QRS), intervalos (PR, QT) e segmentos (PR, ST) (Elgendi et al. [2014]).

A análise do exame de ECG é baseada na validação desses componentes, avaliando diversas características, tais como frequência (em batimentos por minuto), amplitude (micro-Volts), duração (milissegundos), morfologia das ondas e intervalos entre as ondas (milissegundos) (Figura 4.4) (Elgendi et al. [2014]).

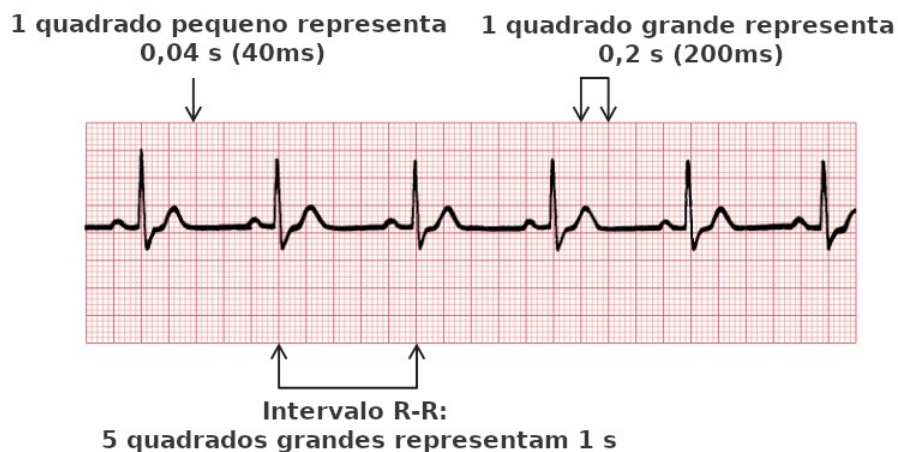


Figura 4.4. Padrão de medição do sinal (Hampton & Hampton [2019]).

A correta avaliação dos principais componentes do ECG (P, QRS, T) (Figura 4.5) permite realizar um diagnóstico preciso. Muitos métodos automáticos que usam metodologias tradicionais seguem esse princípio, de analisar as medidas extraídas do sinal para uma avaliação cardiovascular confiável de diversos diagnósticos (Krasteva et al. [2006]; Tsiouras et al. [2002]; Macfarlane et al. [2005]).

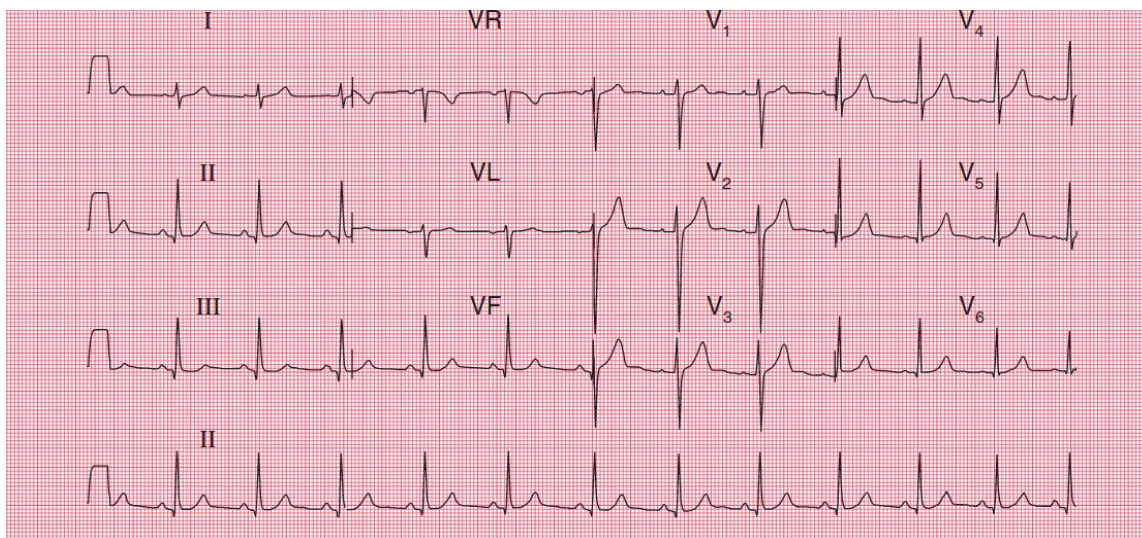


Figura 4.5. Exemplo de um ECG normal (Hampton & Hampton [2019]).

A sistematização na interpretação do eletrocardiograma tem a finalidade de facilitar o diagnóstico, levantando as principais características do exame que possam indicar alguma anormalidade. Habitualmente, é recomendado que sejam avaliadas as seguintes características do eletrocardiograma (Bonow et al. [2011]; Feldman & Goldwasser [2004]):

- Frequência cardíaca (FC)
- Ritmo cardíaco (RIT)
- Onda P (P)
- Segmento PR (PR)
- Intervalo PR (iPR)
- Complexo QRS
- Ponto J e segmento ST (sST)
- Onda T (T)
- Intervalo QT (iQT)
- Onda U (U)

Para cada etapa na análise do exame, existem definições de padrões de valores cuja ocorrência deles indica alguma anormalidade na função cardíaca (Surawicz et al.[2009]), e cabe ao especialista que avalia o exame, analisar e descrever tais eventos detalhando as medidas e suas principais características (Pastore et al. [2016]).

4.2 Sistemas de suporte à decisão

O conceito de Sistemas de apoio à decisão (SAD) ou Sistemas de apoio à decisão (SAD) nasceu por volta dos anos 70, no artigo “*The Concept of a Decision Calculus*” de “J.D. Little” (Little [1970]) e no artigo “*A framework for management information systems* de Gorry and Scott Morton” (Gorry & Scott Morton [1971]).

Little apresentava que um modelo de SAD deve ser simples, robusto, fácil de controlar, adaptável, o mais completo possível e fácil de se comunicar. Por simples, entende-se fácil de entender; por robusto, difícil de obter respostas absurdas; por fácil controle, que o usuário sabe quais dados de entrada seriam necessários para produzir as respostas de saída desejadas; adaptativo significa que o modelo pode ser ajustado à medida que novas informações são adquiridas; completude implica que fenômenos importantes serão incluídos, mesmo que exijam estimativas julgadoras de seus efeitos; e, finalmente, fácil se comunicar, significa que o gerente pode alterar rápido e facilmente as entradas para obter e entender as saídas. Esse modelo consiste em um conjunto de procedimentos numéricos para o processamento de dados e julgamentos para auxiliar na tomada de decisões gerenciais, portanto, foi chamado de cálculo de decisão (Little [1970]).

O processo de tomada de decisão normalmente segue os 4 passos abaixo (Turban et al. [2010]):

1. Definição do problema (situação de decisão que tem que lidar com alguma dificuldade ou oportunidade);
2. Construção de um modelo que descreva o problema no mundo real;
3. Identificação de possíveis soluções para o modelo e validação das soluções;
4. Comparação, escolha e recomendação de possível solução para o

problema;

Uma das definições mais usadas é a de que os SAD combinam os recursos intelectuais dos indivíduos com os recursos do computador para melhorar a qualidade das decisões (Keen & Morton [1978]).

Simon [1960] sugeriu que os processos de tomada de decisão variam de deliberações altamente estruturadas (programadas) a altamente não estruturadas (não programadas). Processos estruturados são problemas rotineiros e tipicamente repetitivos para os quais existem métodos de solução padrão. Processos não estruturados são problemas mais complexos para os quais não existem métodos de solução. *Simon* também descreveu o processo de tomada de decisão com um processo de quatro fases, que são definidas da seguinte forma (Turban et al. [2010]):

1. Inteligência: Essa fase envolve a busca de condições que exijam decisões;
2. Design: Essa fase envolve inventar, desenvolver e analisar possíveis cursos de ação alternativos (soluções);
3. Escolha: Essa fase envolve a seleção de um curso de ação dentre os disponíveis;
4. Implementação: Essa fase envolve a adaptação do curso de ação selecionado à situação da decisão (ou seja, resolução de problemas ou exploração da adversidade);

Um problema não estruturado é aquele em que nenhuma das quatro fases descritas acima está estruturada. Em um problema estruturado, todas as fases são estruturadas e os procedimentos para obter a melhor (ou mais aceitável) solução são conhecidos, por exemplo, se o problema envolve encontrar um nível de estoque adequado ou escolher uma estratégia de investimento ideal, os objetivos

são muito bem definidos. Problemas semiestruturados se enquadram entre problemas estruturados e não estruturados, com alguns elementos estruturados e alguns não estruturados. (Turban et al. [2010]).

Existem muitas definições de SAD, mas todas possuem três pontos em comum: são aplicados a problemas não estruturados, o apoio não substitui o processo de tomada de decisão e está sob o controle do usuário (Marakas [2003]).

A metodologia de SAD reconhece a necessidade de dados para resolver problemas. Esses dados são o primeiro componente da arquitetura do SAD (Figura 3.7) e podem vir de várias fontes. Os dados relacionados a um contexto específico são manipulados usando modelos que são o segundo componente da arquitetura SAD, podendo ser padrão (por exemplo, uma função do Excel) ou personalizados. Alguns sistemas possuem componentes de conhecimento (ou inteligência) que são o terceiro componente da arquitetura SAD. Interagindo com o sistema por meio de uma interface é o quarto componente da arquitetura SAD e os usuários são o quinto e vital componente da arquitetura. (Figura 4.6) (Turban et al. [2010]).

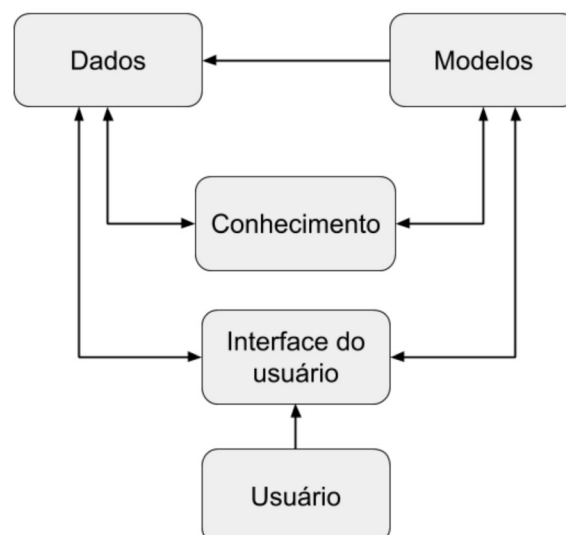


Figura 4.6. Arquitetura de um Sistema de Suporte à Decisão, adaptado (Turban et al. [2010]).

Existem centenas de sistemas informatizados de apoio à decisão (SAD) desenvolvidos para área da saúde (Sistemas de Suporte à Decisão Clínica) com o objetivo de auxiliar o profissional de saúde no gerenciamento do paciente e tomada de decisão. Sua efetividade é normalmente avaliada pelo impacto gerado ao ambiente onde o mesmo é inserido, isso pode ser visto da perspectiva dos usuários (ganho pessoal e individual) ou serviço em sua totalidade. Muitos SADs são eficazes para reduzir as lacunas de conhecimento, melhorar decisões na prática clínica, mas muitos não são, isso está ligado diretamente a forma com que o sistema interage com o usuário e o ganho gerado pela sua utilização (Cahan & Cimino [2017]). Razões pelas quais um SAD pode não alcançar resultados satisfatórios incluem (Liu et al. [2006], Sutton et al. [2020]) :

1. Falha dos usuários em usar o SAD, por falta de conhecimento sobre o uso ou problemas contextuais, como não ter ligação ao fluxo de trabalho ou não adesão ao processo;
2. O SAD não produziu uma saída eficaz a tempo de influenciar sua decisão: por exemplo, a saída não estava disponível a tempo; eles não conseguiam entender a resultado apresentado; número elevado de alerta com pouca relevância.
3. O resultado não foi convincente o suficiente para convencer os usuários a mudar sua prática;

Fatores que interferem no sucesso de um SAD incluem: falha dos profissionais em adotar o sistema, má usabilidade, baixa integração no fluxo de trabalho do profissional ou não aceitação das recomendações do sistema, que podem expor o paciente a algum risco (Cahan & Cimino [2017]). Fatores de

sucesso ou falha de cada abordagem estão diretamente ligados a como a solução se integra ao fluxo real, o impacto gerado nos usuários, qualidade das informações apresentadas, entre outros (Cahan & Cimino [2017], Sutton et al. [2020]).

Abordagens em que os usuários foram solicitados automaticamente a usar o sistema descreveram melhor desempenho em comparação com estudos nos quais os usuários foram solicitados a iniciar manualmente o sistema, pois o acionamento automático pode melhorar a integração no fluxo de trabalho do profissional (Garg et al. [2005]). Resultados semelhantes também foram relatados em uma meta-regressão de avaliação do fator de sucesso X falha relacionados a SADs (Holbrook et al. [2003]).

Na revisão de Sutton et al., são apresentados diversos pontos importantes para SADs de vários tipos (Suporte ao diagnóstico, diagnóstico de imagem, laboratorial e patologias, etc.). São apresentadas as características mais relevantes de cada um deles, assim como os erros e problemas mais comuns relacionados ao mesmo. De forma que, ao propor uma solução a um determinado objetivo, a forma que o mesmo é implementado, pode acarretar outros problemas que comprometem a ferramenta (Sutton et al. [2020]).

Os SAD computadorizados, basicamente, não diferem dos lembretes ou outros auxílios de papel para a tomada de decisão clínica, porque todos eles visam melhorar a adequação das ações clínicas e os resultados de saúde do paciente. Uma ferramenta de decisão é um recurso de conhecimento ativo que usa dados do paciente para gerar conselhos específicos de casos, que apoiam a tomada de decisão sobre pacientes individuais por profissionais de saúde, os próprios pacientes ou outras pessoas preocupadas com eles. O impacto das ferramentas de decisão baseadas em computador deve ser avaliado em relação a outro

computador, papel ou mesmo ferramentas mecânicas, de modo a identificar a opção mais econômica e eficiente (Liu et al. [2006]), pois muitos desenvolvedores e pesquisadores de SAD construíram e projetaram sistemas tecnologicamente avançados com pouca relevância para o mundo real, enquanto outros criaram SAD sem antes determinar se existe uma necessidade clínica.

SADs se utilizam de uma base de conhecimento específico para gerar informação relevante ao usuário. Para isso utilizam estrutura de dados para manipular esse conhecimento, uma das estruturas utilizadas é uma árvore de decisão, onde cada nó avalia uma condição, e a partir do resultado, encaminha para o nó seguinte, até chegar na informação final. Este modelo tradicional vem sendo substituído por tecnologias mais recentes (redes neurais, aprendizado de máquina), de forma que as regras não são mais descritas, mas são “aprendidas” por um algoritmo que extrai e generaliza as informações importantes, este tipo de abordagem tem sido muito utilizada (Safdar et al. [2018]).

As abordagens de SADs voltadas a área de diagnóstico não possuem tanta relevância quanto às de outras áreas, devido a problemas comuns que acontecem em suas implementações, dentre as elas estão: o impacto negativo gerado aos usuários médicos, baixa acurácia e baixa integração do serviço realizado. *Sutton et al.* ressalta que a concepção e a implementação de um SAD requer cuidados extras, por conta dos problemas comuns, e principalmente considerando que o impacto está diretamente ligado à decisão tomada para o cuidado do paciente (Sutton et al. [2020]).

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Definição do sistema

Trata-se do desenvolvimento de uma solução tecnológica inovadora para auxiliar o especialista na avaliação de exames de ECG, fornecendo recursos para análise do sinal, informações automáticas e realizando suporte em tempo real das ações realizadas. Este faz parte de uma complexa plataforma de Telessaúde que presta serviço a pacientes da Atenção Primária de municípios de Minas Gerais cujos ECGs são capturados nas unidades de saúde, enviados ao Centro de Telessaúde do HC-UFMG e analisados pelos médicos cardiologistas, ficando o exame e o laudo disponíveis para a unidade solicitante.

Esta plataforma que possui módulos responsáveis pelo recebimento do sinal de vários aparelhos eletrocardiográficos, envio para central, controle e gerenciamento de exame, avaliação do exame e disponibilização do mesmo. O módulo de avaliação do exame é usado pelos especialistas para realizar o diagnóstico, sendo necessário, ferramentas específicas para esta atividade, algumas delas básicas, como as ferramentas de mensuração. Entretanto, a melhoria do processo exigia customizar e inserir recursos que melhorem a qualidade da informação gerada.

Todo o sistema foi desenvolvido e testado pela equipe interna (clínica e técnica). Para mensuração do ganho e da qualidade obtida com a utilização do novo sistema, foram comparados os resultados de auditorias na versão antiga e na nova.

5.1.1 Contexto inicial

O Centro de Telessaúde do Hospital das Clínicas da Universidade Federal de Minas Gerais (CTS-HC-UFMG), desde o início do projeto de Telemedicina, utiliza soluções tecnológicas para facilitar o atendimento e assistência prestada aos pacientes. Para isso possui uma equipe de análise e desenvolvimento de sistema que trabalha em conjunto e de forma integrada a uma equipe médica. Todos os projetos são executados de forma interativa, onde ambas as equipes possuem participação ativa para buscar a melhor solução do ponto de vista clínico e técnico.

Com a ampliação do serviço e aquisição de novas tecnologias, os sistemas utilizados tornaram-se obsoletos, sendo necessário criar um sistema que fosse extensível para novas tecnologias e novos recursos sem a necessidade de grandes alterações ou risco de gerar impactos negativos em outras partes do sistema. A última versão utilizada foi criada usando tecnologias para sistemas distribuídos, onde a execução é remota. Para tal, o sistema foi construído com base na tecnologia “*Java Web Start*” (que utiliza o protocolo Java Network Launching Protocol [JNLP]) que com o tempo, passou a ter certas limitações tecnológicas e conceituais. Dentre elas podemos citar:

- Liberar portas de acesso para comunicação devido a limitações do recurso tecnológico utilizado;
- Adicionar novas regras para controle e fluxo dos exames;
- Integrar com outros serviços e novas funcionalidades;
- Exigir a instalação de requisitos para funcionamento do sistema (Java);

- Melhorar a estruturação dos dados;

Tais fatores impediram que fosse feita apenas a alteração do sistema atual.

Por conta disso, se fez necessário reconstruir completamente a plataforma.

5.1.2 Elaboração do software

5.1.2.1 Definições iniciais

Baseado nas limitações do sistema utilizado anteriormente e nas inovações necessárias para o sistema e serviço, foi idealizado inicialmente com as seguintes especificações:

- Dinâmico e de fácil acesso (Plataforma Web);
- Possuir os principais recursos do sistema anterior e incremento de novas funcionalidades;
- Integração com sistemas de análise (Software de Glasgow);
- Laudo estruturado, padronizado e discreto;

Ao definir os requisitos básicos, foi levantado durante a especificação, qual seria o processo adotado para substituição do sistema, visto que o serviço possui um fluxo constante e alto (em torno de 2000 exames por dia, em 2018, sendo os de urgência avaliados em até 10 minutos).

Existiam duas abordagens levantadas para a troca do sistema: realizar o processo de forma abrupta ou em paralelo. Na implantação abrupta, é feita uma substituição programa onde é interrompido a versão antiga e inicia a nova, todos os usuários passam a utilizar as novas funcionalidades a partir desse momento e o sistema antigo deixa de existir ou se torna inacessível. Este processo pode

gerar grandes impactos, por conta de falhas impeditivas e possui grandes riscos. Porém, exige menor trabalho na etapa de desenvolvimento e o sistema passa a ser utilizado por completo de uma única vez, imediatamente após a troca.

Já a implantação em paralelo, exige mais trabalho, pois é preciso manter ambos os sistemas funcionando, um independente do outro. Por conta disso, todo o trabalho realizado em um sistema deve ser refeito no outro, isso é uma das grandes desvantagens desse processo. Porém, para tornar o processo de substituição do sistema transparente ao usuário final, os dados inseridos precisam ser migrados entre os sistemas de forma que os dois funcionem harmoniosamente, sem a necessidade de qualquer interação do usuário.

Para isso, é necessário que as informações em cada um dos sistemas estejam sincronizadas e íntegras. Manter dois fluxos independentes com acesso a dados em estruturas distintas sincronizadas requer muito trabalho, porém facilita auditar e validar a correspondência dos dados e permite que qualquer um dos sistemas seja utilizado para cumprir o mesmo objetivo. Isso possibilita que um grupo específico de usuários utilize a nova versão para avaliar as funcionalidades, enquanto todos os outros permanecem na versão antiga.

Como medida de segurança e para manter a estabilidade do serviço prestado, foi optado por uma implantação em paralelo e incremental, onde ambos os sistemas funcionam de forma independente um do outro. Um ponto importante é que as informações precisam estar atualizadas em tempo real em ambos os sistemas. Para isso foi criado um módulo responsável por esse sincronismo de dados que faz a migração das informações respeitando as regras e especificidades um do outro. Por ser incremental apenas alguns especialistas foram selecionados para utilizar o novo sistema, e em caso de alguma

anormalidade, era possível avaliar o exame pelo sistema antigo. Uma vez que sistema esteja estável, novos especialistas são direcionados ao novo sistema, até chegar ao ponto da versão antiga não ser mais utilizada.

Todo o modelo conceitual da nova versão do sistema foi discutido, considerando todos os pontos descritos anteriormente. Contudo, ainda foi preciso analisar com os especialistas que utilizavam o sistema quais os pontos e recursos mais importantes necessários manter na nova versão.

O antigo sistema possuía recursos básicos na interface de laudo, o que permitia o especialista realizar medidas e registrar o conteúdo do laudo. Isso exigia maior atenção ao avaliar o exame (pois não existia integração com processos de análise automáticos) e descrever o laudo, onde cada um poderia redigir o mesmo diagnóstico de formas diferentes, que era feito em um campo de texto aberto.

O sistema possuía também um controle de acesso e permissões que gerenciava os horários de avaliação de exames por usuário. Como o acesso do especialista era limitado ao fluxo de análise, apenas considerações sobre a interface de laudo foram feitas pelos cardiologistas, com foco na ferramenta de medição e melhoria na exibição das informações do paciente.

Previu-se uma reavaliação do desenvolvimento e revisão das funcionalidades com 2 meses de trabalho, prazo necessário para criar toda a base do sistema, a estrutura do banco de dados e o modelo de interface. Após essa etapa inicial, o intervalo entre as reavaliações se tornou mensal, e à medida que o sistema foi evoluindo, os intervalos foram reduzidos, tornando-se quinzenais para ajustes mais específicos.

Após a definição dos requisitos iniciais, foram discutidos os aspectos

técnicos do sistema, como linguagem de programação, padrões, tecnologias, banco de dados e ambiente.

5.1.2.2 Definições tecnológicas

Como linguagem de programação foi definida o Java (por ser a linguagem predominante nos sistemas do CTS-HC-UFMG e comum a todos os programadores da equipe), para criar um sistema web (acessível através de qualquer navegador), o que elimina a necessidade de instalação de recursos específicos para seu funcionamento (*Java runtime environment* (JRE) no caso da versão anterior).

O sistema deve ser restrito para usuários previamente cadastrados que devem acessar apenas o que lhe é cabido. Para isso são utilizadas tecnologias de segurança para impedir acesso indevido. Quanto à interface, foram usadas várias bibliotecas destinadas a melhorar a usabilidade e tornar mais agradável a execução dos fluxos no sistema. Para o banco de dados foi utilizado o *PostgreSQL* (Obe & Hsu[2017]), um banco de dados relacional, robusto e amplamente utilizado na área de pesquisa pelo seu desempenho e estabilidade. Já no ambiente de execução do sistema, foi optado por um sistema operacional Linux, o *Debian* disponibilizado e mantido pela *RedHat*, com o servidor de aplicação *Wildfly*, específico para publicação de sistemas web feitos em Java.

Uma consideração importante é que todos os exames são armazenados no banco de dados *PostgreSQL*, em uma estrutura padronizada. Independente do tipo do equipamento que o ECG foi realizado, todos os dados são convertidos para uma estrutura comum e padronizada, onde o sinal do ECG é armazenado

ponto-a-ponto, assim como as informações sobre equipamento e configuração do mesmo, o que permite a reconstrução e análise de diversas formas do sinal.

O sistema deve ser extensível de forma a possibilitar a integração de novos módulos e novas tecnologias, sem que seja necessário, grandes alterações ou que a partir delas, erros inesperados em outros módulos do sistema ocorram. A principal integração inicial do sistema, foi com o programa *Glasgow University Interpreter* (Macfarlane et al. [2005]) que realiza a análise morfológica dos traçados eletrocardiográficos por meio de padrões rígidos de interpretação. Este criado em outra linguagem, com características específicas para seu acesso e uso.

5.1.2.3 Modelos e padrões

O projeto segue o padrão de projetos *Model-View-Controller* (MVC) (Pop & Altar [2014]), o qual define camadas e estruturas específicas de forma que seja reduzida a dependência e acoplamento do código, fazendo com que a construção do sistema seja mais organizada e mais robusta. Esta separação de camadas, segmenta as regras do sistema, de forma que as classes de domínio, que representam os dados a serem utilizados no sistema, fiquem na camada de Modelo (*Model*), as regras de negócio, como o sistema deve se comportar para apresentar e persistir os dados, são de responsabilidade da camada de Controle (*Controller*) e por fim a apresentação (*View*), a interface de interação com o usuário (Figura 5.1).

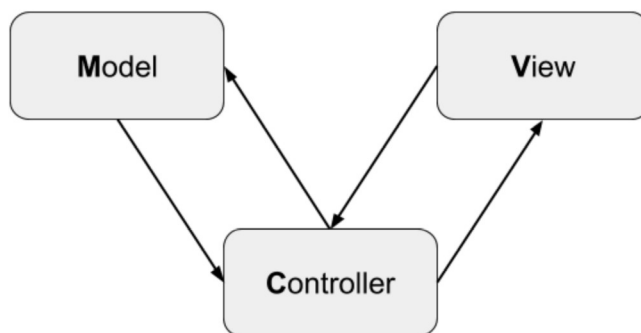


Figura 5.1. Fluxo de dados no Model-View-Controller

A implementação da lógica para o funcionamento das frases segue modelo de um Autômato Finito Determinístico (AFD) (Menezes [1998]) que propõe uma estrutura que segue um padrão de um grafo, onde cada nó é um estado e as arestas representam as possíveis alternativas a serem tomadas a partir daquele nó. Cada aresta pode possuir regras de transição, o que permite ou não que o estado atual seja alterado para o estado desejado (Figura 5.2).

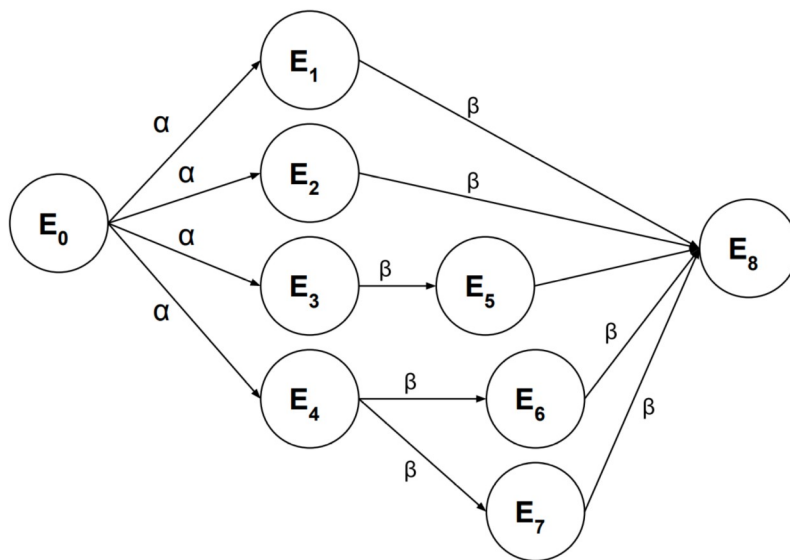


Figura 5.2. Representação de um autômato finito determinístico (AFD), E_x representam os nós, α e β as regras de transição.

Além do uso dos AFDs, foi necessário definir um padrão de marcação para permitir que partes dos textos realizassem comportamentos específicos, como

criação de campos de entrada de dados e operações lógicas para complemento descritivo do laudo textual. Esse padrão é armazenado na estrutura de cada uma das frases e interpretado pelo sistema em tempo de execução.

Para construção do módulo de laudo do ECG, é utilizado como base, a estrutura descrita na III Diretrizes SBC para Análise e Emissão de Laudos Eletrocardiográficos. Segundo definições da diretriz, o laudo eletrocardiográfico descritivo deve possuir a seguinte estrutura (Pastore et al. [2016]):

1. análise do ritmo e quantificação da frequência cardíaca (FC);
2. análise da duração, amplitude e morfologia da onda P e duração do intervalo PR;
3. determinação do eixo elétrico de P, QRS e T;
4. análise da duração, amplitude e morfologia do QRS;
5. análise da repolarização ventricular e descrição das alterações do ST-T, QT e U, quando presentes;
6. **Laudo conclusivo** - Síntese dos diagnósticos listados na diretriz;

Com base na estrutura da diretriz, foram realizadas algumas adaptações que resultaram em uma estrutura composta de basicamente 6 frases para descrição completa dos achados no exame, além de uma frase de observações. Além do laudo conclusivo, que é padrão para a estrutura, o modelo proposto ficou organizado da seguinte forma:

1. Ritmo cardíaco e quantificação da frequência cardíaca (FC).
2. Duração da onda P e características.
3. Duração do intervalo PR e características.
4. Duração do complexo QRS, valor do eixo elétrico e morfologia.

5. Análise da repolarização ventricular e valor do intervalo QT corrigido.
6. Observações gerais.

5.1.3 Módulo Laudo ECG

5.1.3.1 Medidas automáticas

Extrair as medidas das principais ondas e complexos do ECG exige um certo esforço e tempo do especialista. Considerando esta dificuldade e a existência de diversos softwares de análise automática, foi realizada a integração do sistema com o software de análise automáticas de *Glasgow University Interpreter* (Macfarlane et al. [2005]). Este software realiza a análise morfológica dos traçados eletrocardiográficos por meio de padrões rígidos de interpretação. O software avalia o valor de todos os intervalos (PR, RR, QT, QT corrigido por diferentes métodos), eixo e duração do complexo QRS e das ondas P e T, frequência cardíaca sinusal e ventricular. O programa também exporta a interpretação sucinta com as principais alterações eletrocardiográficas identificadas codificadas pelos sistemas Glasgow e Minnesota (BLACKBURN et al., 1960).

Dessa forma, quando o exame é recebido na central, imediatamente é submetido a análise automática, os resultados desse processamento são armazenados e disponibilizados ao cardiologista que fará o laudo. Com isso, o especialista, ao selecionar o exame para análise, já recebe diversas informações técnicas para auxiliar sua avaliação (como: os valores fora da faixa de

normalidade são destacados em vermelho com objetivo de chamar a atenção do avaliador), e cabe a ele concordar ou alterá-los conforme a necessidade.

Outro ganho que o sistema traz com a integração da análise automática é que, ao receber seu resultado, o sistema avalia os valores e baseado em critérios pré-definidos, prioriza o exame por apresentar condições de risco ao paciente, antecipando a avaliação do exame pelo especialista e com isso, aumentando a sobrevivência do paciente.

5.1.3.2 Variáveis do ECG

O processamento realizado durante a avaliação do exame depende de diversos dados relacionados ao contexto. Tais informações permitem a correta avaliação do estado clínico do paciente.

Para validação e inferência dos resultados de cada classe e de diversas regras, o sistema utiliza as seguintes variáveis para processamento (variáveis do ECG):

- Dados do paciente
 - Sexo;
 - Idade;
 - Comorbidades;
- Dados do ECG
 - Valor da FC;
 - Onda P;
 - Intervalo PR (PRi);
 - Duração QRS e eixo do QRS;

- Duração QT e a sua correção (QTc);

Cada variável do ECG pode ser alterada a qualquer momento, para isso o especialista conta com uma ferramenta de manipulação e mensuração do traçado, o qual permite ampliar e mover qualquer região do traçado, e com isso realizar a medição das ondas, intervalos e complexos com maior precisão.

As variáveis estão diretamente ligadas ao acesso e comportamento das frases ECG, a alteração de uma delas impacta na seleção das frases, assim como as mesmas afetam os valores das variáveis. Estas servem de base para auxiliar na tomada de decisão do sistema e para o correto funcionamento das frases do ECG.

5.1.3.3 Frases do ECG

Conforme descrito pela diretriz da III Diretrizes SBC para Análise e Emissão de Laudos Eletrocardiográficos, o laudo necessita ter uma estrutura específica, organizada e estruturada, onde cada frase descreve as principais características do ECG, idealmente seguindo uma ordem determinada (Bonow et al. [2011]; Pastore et al. [2016]).

A partir desse pressuposto, a primeira abordagem construída no sistema foi baseada nessa ideia, que o especialista deveria informar quais as medidas e principais características de cada onda/complexo e, com base neles, o sistema disponibilizaria quais os diagnósticos permitidos (Bonow et al. [2011]). Esta abordagem seria o modo ideal ("como deveria ser") a ser utilizado, pois, todas as evidências e características mais importantes são levantadas e descritas, de

forma que ao final, o diagnóstico para o exame se torna evidente. Seria como navegar em uma árvore de decisão, do topo à parte inferior, onde cada nó percorrido representa os detalhes do exame.

Após a implementação da proposta, seguindo a metodologia definida, o sistema foi apresentado a um grupo de especialistas para avaliação, sendo que, depois de alguns testes, foi rejeitado por todos. O argumento foi que o processo de avaliação se tornou inviável, devido à necessidade de repetir todos os passos requeridos, avaliando e corrigindo cada medida para assim poder concluir o diagnóstico. O processo levaria muito tempo e exigiria um esforço desnecessário, prejudicando assim o fluxo do serviço que recebe um número relativamente alto de exames.

Devido ao fracasso inicial do projeto, foi necessário rever todo o processo de avaliação do exame da perspectiva do usuário final, no caso o cardiologista. Após entrevistar e acompanhar o fluxo de trabalho de alguns deles, foi possível notar que o especialista avalia o exame de uma forma totalmente diferente do proposto pela literatura (Bonow et al. [2011]; Pastore et al. [2016]), porém sem deixar de executar qualquer uma das etapas propostas, alterando apenas a ordem e a forma que todo processo acontece.

O novo fluxo adotado, se baseia no método Osleriano (Osler [1912]) que identifica a presença de determinada doença, a partir de anormalidades anatômicas presentes em órgãos e tecidos (Loscalzo et al. [2011]). Nela a doença é classificada seguindo uma estratégia de cima para baixo, com base na apresentação clínica da doença (topo), que é posteriormente acompanhada por pesquisas visando identificar a base e os detalhes (baixo) de cada doença (Agustí et al. [2017]). Pois, o especialista por conta de sua experiência, é capaz de

visualizar o traçado e identificar um padrão no exame, e dessa forma chegar no diagnóstico conclusivo (topo) através da memorização e reconhecimento de padrões (Hurst [2000]). Uma vez identificado e definido determinado diagnóstico, é necessário apenas validar as informações no exame e descrever os achados (baixo) para finalizar a análise.

Baseado na nova análise ("como realmente é"), o processo real utilizado pelos especialistas, é inverso ao proposto pela literatura, de forma que é definido o diagnóstico para o exame e em seguida é realizada a descrição dos achados que evidenciam o laudo.

Conciliar o processo real de diagnóstico de exames com o modelo ideal em um fluxo único, de forma harmoniosa parecia complexo, pois o serviço necessita de agilidade no atendimento, porém sem abrir mão da qualidade, e da assertividade do laudo quanto às informações apresentadas no mesmo. Gerar um modelo descritivo para cada tipo de diagnóstico e suas combinações pareceu uma alternativa inviável, por conta do esforço e da dificuldade para manter. Para isso foi idealizado um novo modelo, onde dado um diagnóstico, o sistema gera automaticamente todo o descritivo detalhado para o mesmo.

Mas ainda havia um agravante que acontece com a combinação de vários diagnósticos para um mesmo exame. Cada diagnóstico possui uma ou mais características que o definem, e cada uma delas está ligado a uma frase definida na diretriz, portanto ao selecionar múltiplos diagnósticos, as principais características de cada um serão mescladas em uma das frases do modelo da diretriz (Pastore et al. [2016]).

Um conjunto de classes de diagnósticos do ECG, foi selecionado e adaptado a partir das definições da III Diretrizes SBC para Análise e Emissão de

Laudos Eletrocardiográficos (Pastore et al. [2016]) e das recomendações da “American Heart Association” (AHA/ACCF/HRS)(Surawicz et al. [2009]), e foram organizados em uma estrutura de árvore hierárquica de três níveis (Figura 5.3):

- Grupo: Define a classe principal do diagnóstico (Erro, Marcapasso, Normal e Anormal);
- Subgrupo: Para cada grupo, os subgrupos organizam os diagnósticos com características semelhantes (Normal, Ritmo, Sobrecargas, etc);
- Diagnóstico: Classe final para o exame, podendo possuir múltiplos valores;

Ao avaliar os requisitos técnicos necessários para implementar e manter a proposta, foram levantados os seguintes pontos:

- Como gerar o laudo descritivo proposto pela diretriz;
- Gerar regras permissivas para cada diagnóstico;
- Tratar possíveis conflitos entre diagnósticos;
- Como realizar a transição e adição de novos diagnósticos;

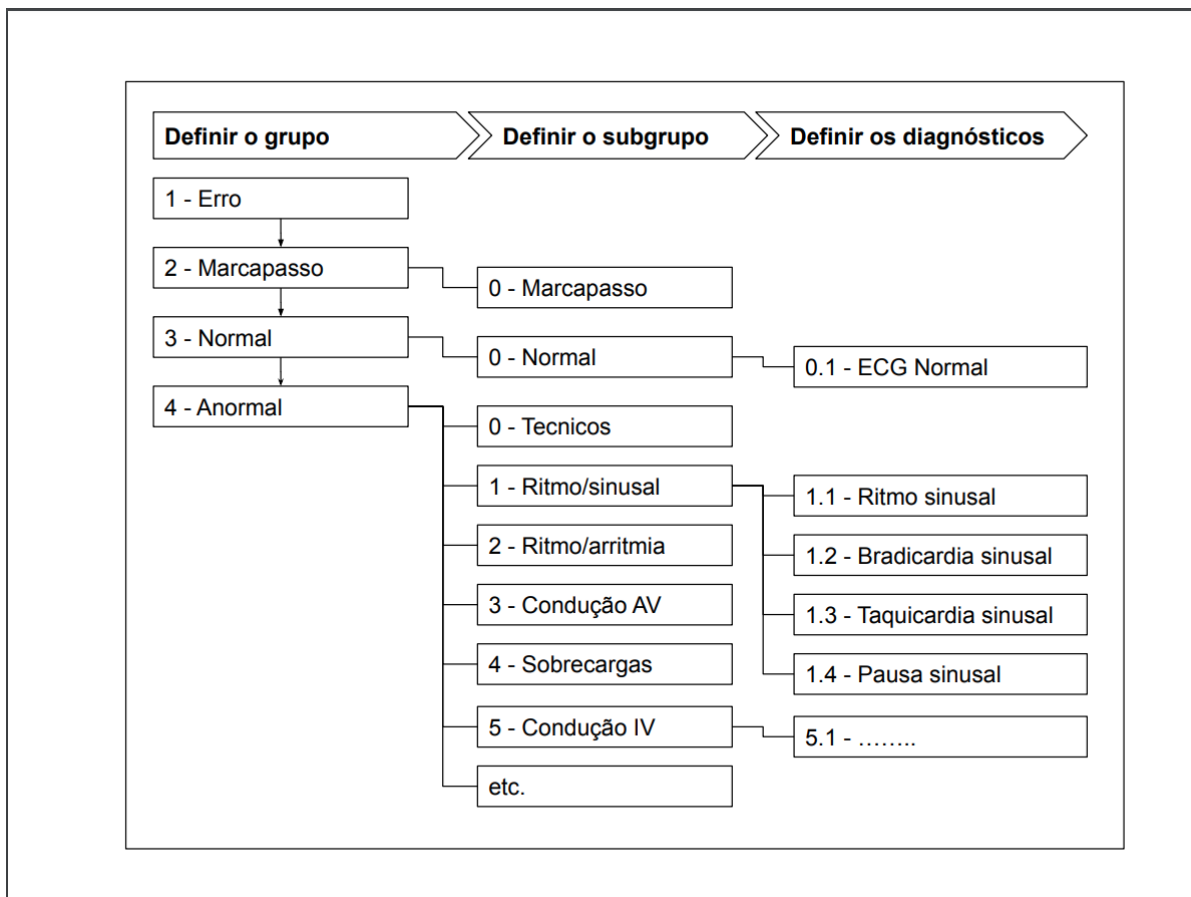


Figura 5.3. Estrutura das classes e diagnósticos

O especialista se baseia no reconhecimento do padrão do exame, e a partir dele avalia as condições para evidenciar o mesmo e sustentar sua decisão. Contudo, podem ocorrer diversos erros, de forma que o padrão do ECG sugira um diagnóstico que não é sustentado pelas medidas dos intervalos e deflexões do traçado, ou mesmo incompatíveis com o contexto de realização do exame (Davidenko & Snyder[2007]; Hurst [2000]), gerando erro no diagnóstico do exame (Guglin & Thatai [2006]). Ao inserir regras e condições para que determinado diagnóstico exista em um exame, impede-se que erros relacionados a informações contextuais ocorram, forçando o especialista a ajustar e reavaliar as informações necessárias que são pré-requisitos ao diagnóstico.

Reformular a solução para atender a todas as necessidades, exigiu a avaliação de algum modelo que pudesse realizar uma iteração de passos com avaliação de estados, controlando transições dinâmicas com prioridades. O modelo de *Autômatos finitos determinísticos (AFD)* (Menezes[1998]) é um modelo para controle de fluxo de estado com regras de transições, as quais somente ocorrem quando tais regras são atendidas, permitindo que cada nova ação ou interação com o sistema seja processada e realizada respeitando toda e qualquer regra ou condição previamente inserida. Considerando que cada parte de uma sentença pode sofrer mais de uma alteração devido à seleção de várias frases, um novo fluxo é realizado para definir qual ou quais operações serão executadas.

Como as frases incidem em modelos de laudo, cada modelo foi fragmentado em sentenças, e cada uma das sentenças foi fragmentado em blocos. Esses blocos alteram seus estados à medida que uma nova classe é adicionada, ou mesmo quando alguma medida relacionada ao mesmo é alterada. Da mesma forma que cada bloco pode sofrer alterações, seu conteúdo interno pode ser dinâmico também, se ajustando a alterações de dados do contexto e criando campos de entrada de dados (valores numéricos, campos de seleção de múltipla escolha) (Figura 5.4).

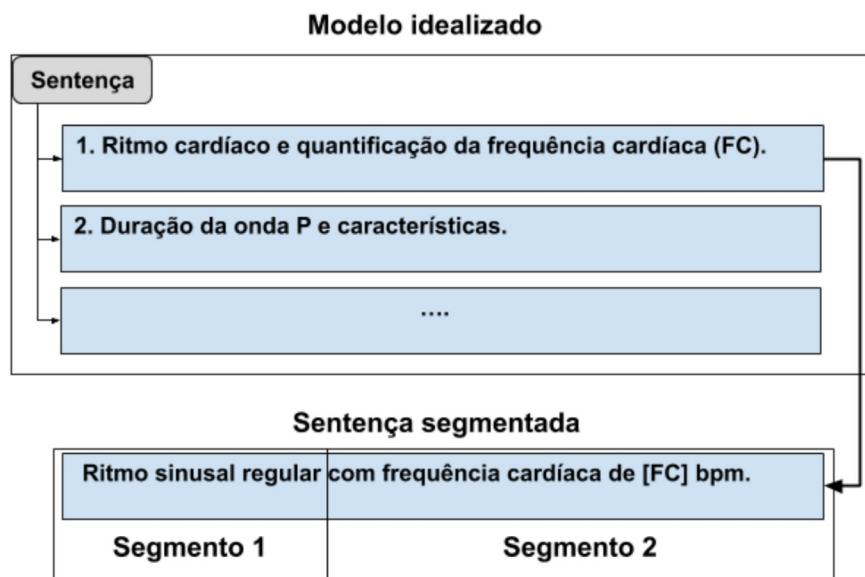


Figura 5.4. Modelo composto de sentenças e o exemplo de uma sentença segmentada.

Cada sentença é fragmentada em pelo menos duas partes, que podem sofrer alterações de várias formas. Ao adicionar um diagnóstico, este possui uma configuração de qual sentença, e em qual parte ele irá interagir. Nessa mesma configuração é definido também, como ele irá interagir com o bloco, pois é possível apenas adicionar informação ao conteúdo existente ou substituir completamente o bloco. Existem diversos casos onde dois ou mais diagnósticos podem referenciar o mesmo bloco na sentença, para esse caso, é avaliado a prioridade entre os diagnósticos, sendo que o mais importante prevalece e mantém seu conteúdo (Figura 5.5).

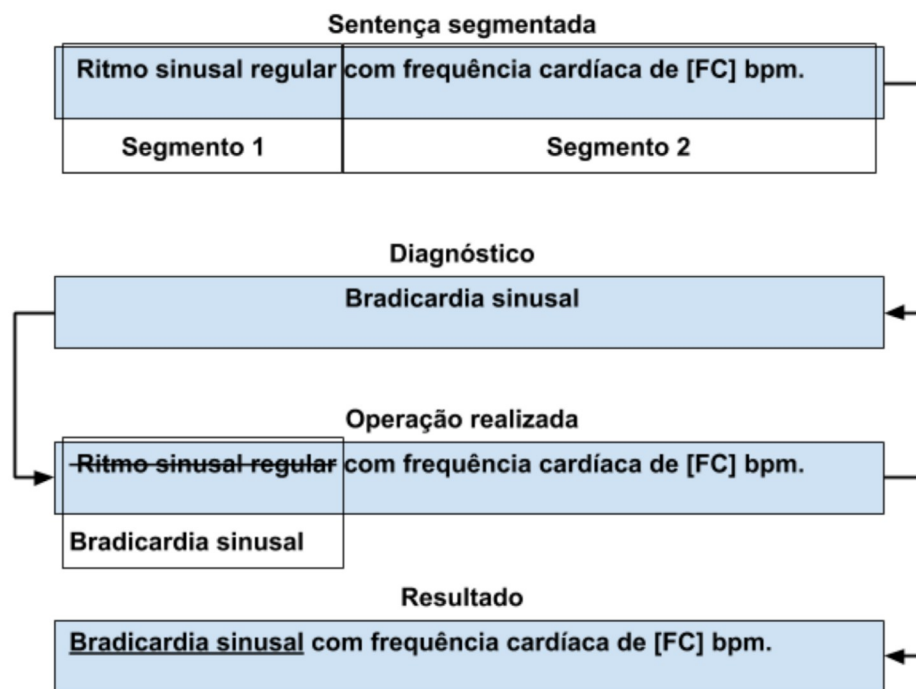


Figura 5.5. Operação de adição de uma frase.

Todo o processo é realizado para cada sentença, avaliando se existe algum diagnóstico que realiza alguma ação sobre ele, até o fim do modelo. Durante a execução desse processo ocorre a interpretação das frases dinâmicas, alterando o conteúdo e criando campos de entrada quando necessário, isso não ocorre somente para a estrutura do modelo, mas também para o bloco alterado por cada diagnóstico.

Após a geração e formatação do laudo final, ainda é necessário validar as regras de bloqueio e atualizar toda a estrutura de seleção com a nova classe adicionada. Nesta etapa o sistema varre cada diagnóstico (este possui uma regra lógica para que seja habilitado) e com base nas variáveis do ECG, ele bloqueia seu acesso. Paralelamente, o diagnóstico possui regras de incompatibilidade, que podem bloquear diagnósticos específicos, seu grupo ou mesmo toda a árvore de seleção.

Todas as alterações ocorrem em tempo real, para isso o sistema realiza as operações abaixo, assim como outras operações já descritas:

- Validar frases não concordantes;
- Bloquear ou desbloquear as frases de acordo com seus requisitos;
- Atualizar o conteúdo das frases com valores alterados;
- Realizar as operações internas;
- Alertar valores de medidas fora da faixa de referência;

Tudo isso foi possível trabalhando com eventos e gatilhos, onde cada ação do usuário, dispara determinados gatilhos que executa uma rotina determinada, isso faz com que a cada interação, todas as informações sejam atualizadas.

5.1.3.4 Laudo descritivo automático

Para atender os requisitos apresentados na III Diretrizes SBC para Análise e Emissão de Laudos Eletrocardiográficos, ainda seria necessário realizar a descrição de cada achado, assim como as medidas (Pastore et al. [2016]), isso após ou mesmo durante a avaliação do exame. A descrição completa das informações do exame e dos diagnósticos do mesmo, tem uma função muito importante para o profissional de saúde que presta o atendimento ao paciente (Miller [2019]). Principalmente em casos onde o exame apresenta alguma anormalidade e ela exige que o mesmo seja encaminhado para um centro especializado que ao receber o paciente com o exame previamente realizado, possibilita um atendimento direcionado e antecipado.

Com o objetivo de atender essa situação, levando mais informação ao

profissional responsável pelo paciente e trazer mais qualidade e agilidade ao especialista no processo de avaliação do exame, foi elaborado um módulo que é capaz de gerar o texto descritivo do laudo utilizando os diagnósticos selecionados e as informações do paciente e exame. Para tornar isso possível, primeiramente foi analisada cada classe de diagnóstico, e foi constatado que cada uma delas possui características intrínsecas que definem o comportamento e seus requisitos, assim como a compatibilidade com outras classes.

Baseado nessas informações, e nas especificações propostas pela III Diretrizes SBC para Análise e Emissão de Laudos Eletrocardiográficos, foi definido para cada grupo (Figura 5.3) um modelo com uma estrutura padrão, onde uma vez selecionado um diagnóstico, o sistema carrega o modelo do grupo (que é composto por 6 sentenças) a que a classe pertence e o mesmo é alterado e ajustado de acordo com as regras da classe. Esse modelo deve ser alterado especificamente em locais relacionados à classe, de forma a manter o texto resultante explicativo, concordante e coerente.

Para que houvesse um comportamento dinâmico, seria necessário substituir uma parte de sentença por um trecho específico de cada classe assim que uma for adicionada no exame, partindo da abordagem mais simples, se em cada sentença houver um marcador que pode ser utilizado como chave, e ele for substituído pelo novo conteúdo, isso resolveria o problema. Porém, ao trabalhar com múltiplas classes no mesmo exame, ou quando uma classe deve não só substituir um bloco, mas toda a sentença, descartou essa alternativa.

Para construir frases dinâmicas e editáveis, foi necessário trabalhar com um padrão de marcação dentro do texto, de forma a torná-lo processável. Com isso foi possível inserir regras lógicas e textos condicionais dentro de cada

sentença, pois existem componentes das sentenças que devem ser alterados de acordo com que as medidas são ajustadas e não com a adição de uma nova frase.

Essas marcações realizam comportamento de uma *estrutura condicional* conhecida como "se-senão", como é definida em algoritmos (Menezes [1998]). As *Variáveis ECG* são avaliadas pela condição, e de acordo com a saída configurada na sentença, é exibido um complemento diferente para a frase.

Sintaxe	
Código	Descrição
[nome_variavel]	o código será substituído pelo valor do preenchido no campo, códigos disponíveis: [HR], [P], [PRi], [QRS], [eixoQRS], [QTc]
[[](A B C)]	Será gerado um campo de múltiplas escolhas [A e/ou B e/ou C]
[(A B C)]	Será gerado um campo de onde apenas uma das escolhas será selecionada (A ou B ou C)
(descrever_derivacoes)	Campo de múltiplas escolhas exibindo todas as derivações
_	(underline) Campo de entrada numérico, a quantidade de _ será a quantidade de dígitos aceita pelo campo
[[condição1 saída 1][condição2 saída 2]]	Estrutura condicional (se-senão) de texto, se a condição 1 for atendida, a saída 1 será exibida. Se não, é testada a próxima condição.

Tabela 5.1 Padrão de sintaxe utilizada nas frases e no modelo.

A cada interação do usuário, seja ela, alterando uma medida ou adicionando / alterando um diagnóstico, todo laudo descritivo é reconstruído, atualizando de acordo com a última alteração e obedecendo a todas as outras que a antecedem.

5.2 Plataforma Telessaúde

O Sistema de Laudo ECG construído, faz parte de uma plataforma mais ampla e complexa a qual, gerencia e controla todos os fluxos necessários para que o processo da Telecardiologia seja executado, assim como vários outros serviços prestados pela RTMG. Assim como o sistema criado, esta foi totalmente reformulada e desenvolvida com base nas características levantadas para o sistema do Tele-ECG.

Um dos principais fatores para reformulação da plataforma, foi que, os serviços prestados eram realizados em sistemas específicos e isolados, independentes uns dos outros. Para vincular informações relacionadas em diferentes sistemas, exigia certo trabalho, visto que as informações estavam em sistemas construídos em linguagens diferentes, com SGBDs diferentes e estruturas distintas, muitas vezes sem nenhuma estrutura em comum.

A nova plataforma foi recriada focando em resolver esses problemas legados, onde foi definida uma linguagem padrão, portanto todos os módulos seriam construídos em padrões semelhantes e compatíveis. Toda a base de dados foi redefinida, se atentando a expansão do sistema e integração de possíveis módulos futuros.

Para gerenciar a nova plataforma, foi criado um módulo central, que controla o acesso e as informações de base dos sistemas, esta foi recebeu o nome de Sistema de gerência de Telessaúde (Sigtel). Todo e qualquer serviço prestado, possui integração direta (módulo construído está dentro do sistema) ou indireta (módulo é construído separadamente, porém utiliza a mesma base e segue as mesmas regras do módulo principal).

Desta forma foi criado o módulo de Telediagnóstico, responsável por adquirir, transportar, gerenciar e avaliar exames realizados remotamente e devolver o diagnóstico realizado por um especialista da área em tempo hábil. Em situações de emergência, comunicar e prestar esclarecimentos em casos de urgência ou de dúvida.

O módulo de Telediagnóstico pode ser dividido em 4 partes:

- Módulo de Cadastros;
- Módulo de Captura do Exame;
- Módulo de Gestão;
- Módulo de Laudo;

5.2.1 Módulo de Cadastros

Todo e qualquer acesso às funcionalidades e serviços estão disponíveis somente a usuários autenticados e com as devidas permissões. Para isso, o sistema possui a gestão de profissionais e usuários, onde para cada profissional cadastrado, é definido quais funcionalidades ele tem acesso, assim como a quais recursos (filas de exames, estabelecimentos de saúde) ele pode interagir.

5.2.2 Módulo de Captura do Exame

Os exames realizados nas localidades remotas, necessitam de um conjunto mínimo de informações, assim como estar em um formato padronizado para que seja analisado de forma adequada. Para isso foi criado o módulo de captura do exame, este utiliza de autenticação fornecida pelo módulo de cadastros, e com base nessas informações, disponibiliza funcionalidades específicas ao usuário.

O usuário tem acesso à lista de exames realizados pelo estabelecimento de saúde a que pertence, e nela, consegue gerar o PDF com detalhamento de todas as informações do exame realizado e do laudo do especialista.

Para realizar um novo exame o usuário preenche os dados básicos do paciente e complementa com informações sobre o motivo de realização, comorbidades, medicamentos em uso, uso de marcapasso e qualquer observação que julgar necessário. Após preencher todas essas informações, o usuário captura o sinal do ECG por meio de comunicação direta entre o sistema e o aparelho de ECG, ou por meio de exportação de arquivos em formatos previamente configurados.

Uma vez finalizado o exame, ele é armazenado em uma base local e posteriormente enviado à central. Uma característica importante do sistema é que o mesmo funciona “offline” (sem conexão com a internet), o que permite a realização do exame independente da conectividade do local, e quando encontrada conectividade com a central, o mesmo é enviado automaticamente.

5.2.3 Módulo de Gestão

Além dos dados do profissional que realiza o exame, o sistema necessita de diversas outras informações para controlar o registro, como prioridade, a qual fila de exame pertence, quais as configurações ele deve utilizar, dentre outras. Tais informações são exclusivas para a realização e gestão de exames, portanto pertencem ao módulo de gestão de Telediagnóstico.

Este módulo é responsável por gerenciar todas as configurações do serviço de Telediagnóstico, que vão de informações a serem utilizadas no envio do exame às frases a serem exibidas no Laudo ECG.

Uma das interfaces/funcionalidades importantes no módulo é a gestão de plantão médico, que é de acesso restrito a plantonistas e gestores. Esta interface possibilita visualizar a fila de exames, quais especialistas estão de plantão naquele momento, assim como quais exames estão avaliando. Na listagem da fila de exames, existem as opções de visualizar os dados do mesmo, aumentar a sua prioridade ou mesmo cancelar o exame. Ela possui também o controle de horários de acesso de cada especialista, essa funcionalidade define em quais dias e horários, determinado especialista pode acessar os exames para avaliá-los.

Outro recurso importante da interface é o controle de alertas gerados pelos especialistas. Ao finalizar o Laudo ECG o especialista pode gerar um alerta que deve ser notificado ao profissional responsável pelo paciente, e através dessa interface, o plantonista acessa os alertas gerados e registra o contato realizado com o responsável remoto.

Além de gerenciar as configurações do sistema, o módulo disponibiliza uma interface de acesso à consulta e visualização de exames realizados pelos profissionais, que pode ser acessada através de um navegador web.

Este módulo gerencia diversas informações importantes ao serviço de Telediagnóstico, de forma que seja possível ajustar ou corrigir determinados fluxos, ou informações sem a necessidade de alterações no código fonte do sistema.

5.2.4 Módulo de Laudo

O presente trabalho apresenta o módulo de laudo criado especificamente para a avaliação de exames de ECG, porém o sistema possui módulos

específicos para avaliação de outros tipos de exames, como o de exames de retinografia e de exames de ecocardiograma (ECO), cada um com suas especificidades.

5.3 Análise estatística

Variáveis qualitativas foram descritas pela distribuição de frequência. Dados obtidos de variáveis quantitativas contínuas foram expressos como média e desvio padrão ou mediana com intervalo interquartil.

5.3.1 Dados utilizados

Periodicamente, são realizadas auditorias por uma cardiologista sênior, para avaliar a qualidade dos laudos do serviço e de cada cardiologista individualmente. A amostra a ser avaliada é definida conforme o número total de exames laudados por cada cardiologista no período de interesse. Os exames são selecionados aleatoriamente e ficam disponíveis para a auditoria no mesmo sistema de laudos da produção em aba específica, somente habilitada para aquela cardiologista. Os traçados eletrocardiográficos visualizados pelo médico a ser auditado, bem como, o seu laudo final são disponibilizados para visualização e edição da auditora. Nos exames em que há discordância do laudo original, um novo laudo é feito e em espaço específico, a auditora pontua e justifica o motivo das suas discordâncias (Figura 5.6). A análise final dos resultados da auditoria gera a tomada de decisões técnicas e clínicas, como: melhor padronização dos laudos entre os cardiologistas, ajuste de ferramentas técnicas e intervenções

assistenciais, quando necessárias.



Figura 5.6. Interface de auditoria do ECGs.

5.3.2 Descrição da análise do dados

Foram colhidos os resultados dessas auditorias do serviço de Telecardiologia realizadas pela RTMG que, mensalmente avalia uma amostragem do mês anterior, porém por um certo período isso aconteceu de forma bimestral, por esse motivo foi optado trabalhar dessa forma.

A comparação do sistema novo em relação ao sistema antigo baseia-se no ganho adquirido com o aumento da assertividade e concordância dos diagnósticos realizados.

5.3.3 Análise estatística

Foi necessário avaliar o padrão que a amostra segue e para isso foi utilizado o método de *Shapiro-Wilk* com o objetivo de validar uma distribuição normal ou não. A suposição de homogeneidade das variâncias em cada grupo foi avaliada pelo teste de Bartlett.

Para medir o desempenho de cada sistema, o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis, que é uma extensão do teste de Wilcoxon-Mann-Whitney, foi utilizado para comparação das medianas das proporções de laudos corretos de cada sistema. Isso se faz necessário para validar se a diferença obtida após a implantação do novo sistema foi significativa, considerando o aumento na assertividade dos diagnósticos realizados e na concordância da análise do auditor.

O nível de significância estatística foi definido para valores de p menores que 0.05, sendo considerado intervalo de confiança de 95%. O programa Jupyter (Python) foi utilizado para todas as análises.

5.4 Aspectos éticos

Segundo os termos da Resolução no 466/12 do Conselho Nacional de Saúde, todos os aspectos éticos desta legislação foram respeitados, sendo que nenhum dado que identifica o paciente é utilizado na pesquisa, apenas os dados referente ao resultado de desempenho de qualidade do sistema são utilizados, não sendo necessária a aprovação do comitê de Ética.

6. RESULTADO E DISCUSSÃO

6.1 Resultados

6.1.1 Sistema RTMG - TD

O sistema faz parte de uma plataforma de Telediagnóstico que recebe o ECG de diferentes equipamentos em localidades remotas e envia para o sistema “online”. Após receber, validar e armazenar o ECG na central, o mesmo é submetido a uma análise automática realizada pelo Software da Universidade de Glasgow (Macfarlane et al.[2005]). O resultado gerado pelo pré-processamento, como medidas e um pré-laudo é armazenado e exibido juntamente com o traçado ao cardiologista no momento da análise do exame.

Todos os exames recebidos são organizados em uma fila de prioridades, que pode ser possuir os seguintes valores: urgente, preferencial ou eletiva (informado no momento da realização do exame pelo profissional que está atendendo o paciente), o qual são disponibilizados nessa ordem, sendo que os da mesma classe, são organizados por ordem de inclusão no sistema. Em casos onde a análise automática classifica o exame em diagnósticos e medidas pré definidas, o exame é priorizado na fila, o que permite antecipar o atendimento ao mesmo dado uma possível condição clínica de risco. O sistema disponibiliza uma interface para gestão dos exames, onde é possível verificar a quantidade de exames aguardando na fila, os já avaliados, os especialistas “online” e os alertas gerados dos exames concluídos (Figura 6.1).

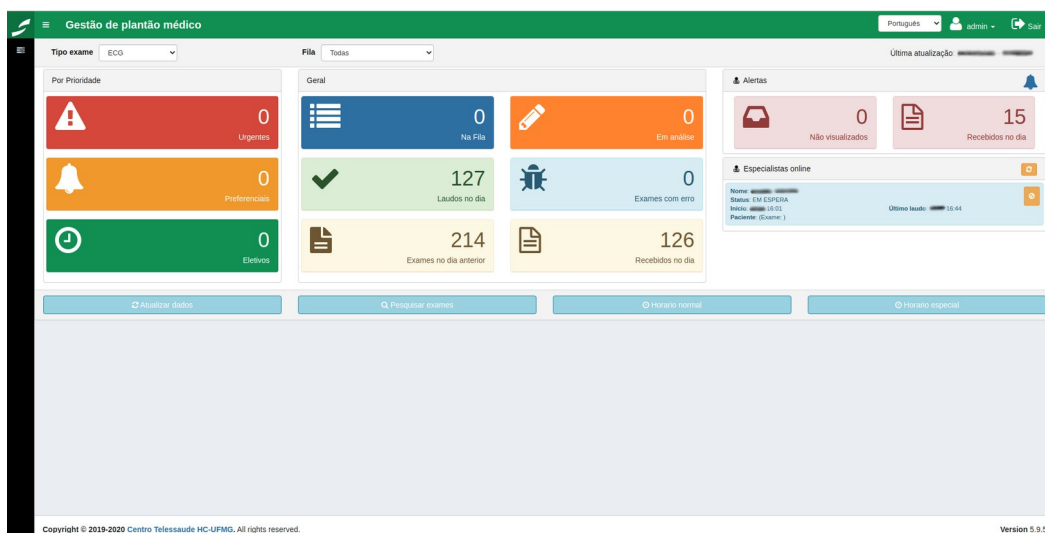


Figura 6.1. Interface de gestão do triagista, com dados sumarizados do momento da fila.

O cardiologista possui acesso aos números atuais da fila de exames, assim como de todos os exames avaliados por ele. Porém, não possui acesso a nenhum detalhe dos exames na fila, ele apenas solicita o próximo exame sem qualquer informação prévia do mesmo, todas as informações são exibidas quando o mesmo retira o exame da fila para análise (Figura 6.2).

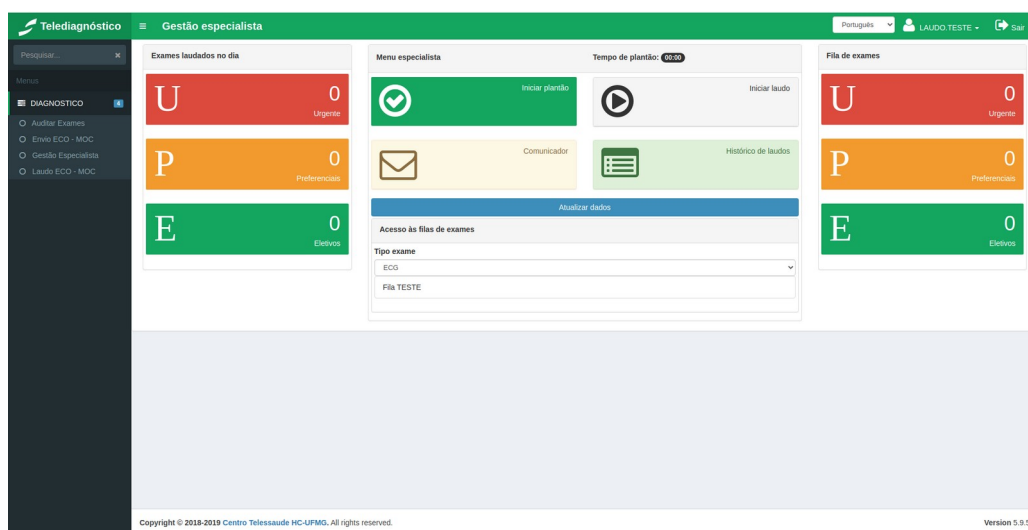


Figura 6.2. Interface de gestão do especialista, com dados da fila e dos exames avaliados até o momento.

Todo módulo de frases do ECG é dinâmico, pode ser inserido ou alterado sem a necessidade de recompilar o código. Para isso foi criada uma interface de controle, que gerencia toda a estrutura relacionada às frases (Figura 6.3), desde os grupos aos alertas gerados por cada frase.

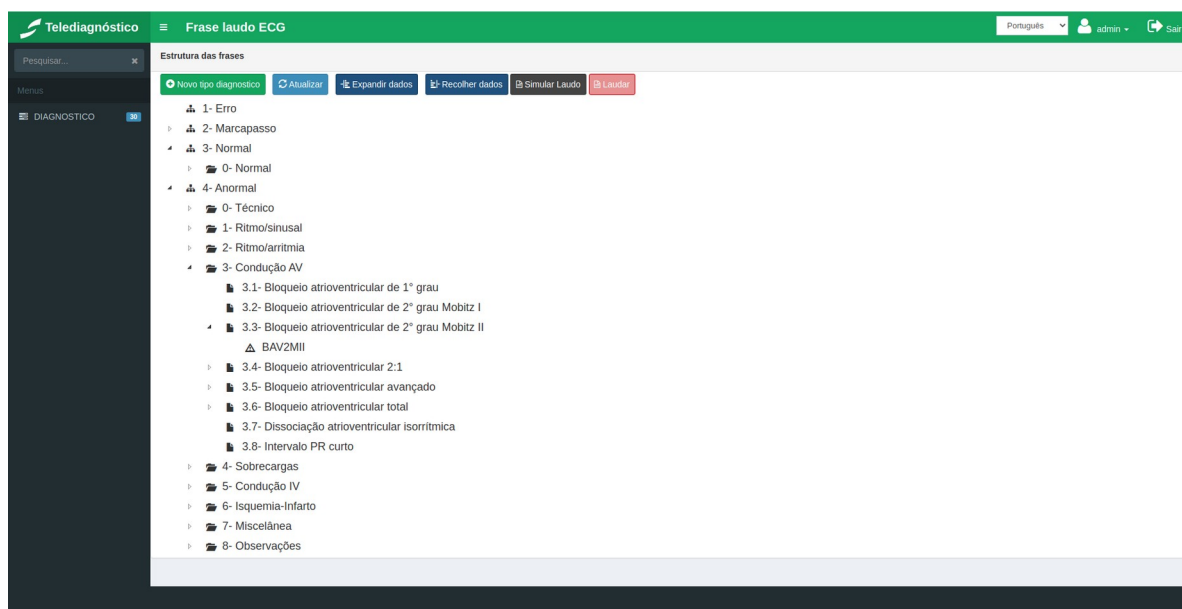


Figura 6.3. Interface de controle das frases ECG.

Todas as informações de cada frase, sua regra, ordem, incompatibilidades e comandos, são alterados por uma interface simples, sendo necessário apenas seguir alguns dos padrões do sistema (Figura 6.4).

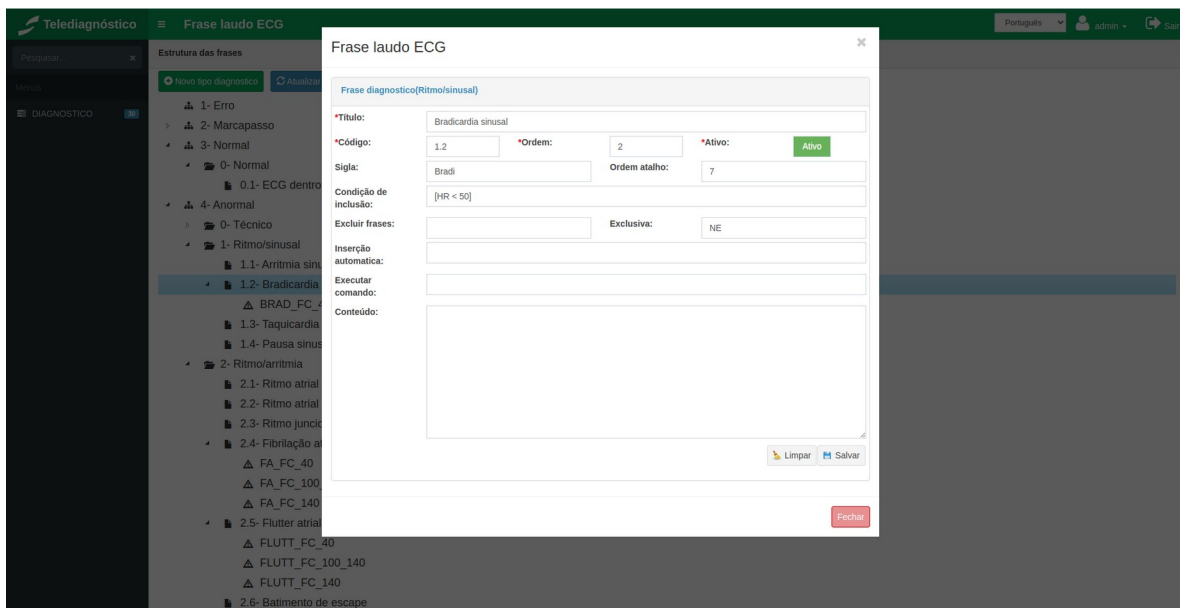


Figura 6.4. Interface de alteração da frase ECG.

6.1.2 Interfaces e funcionalidades

O sistema de laudo possui dois componentes importantes que são disponibilizados para os cardiologistas (Figura 6.5):

1. Medidas automáticas com a possibilidade de validação e correção (através de ferramentas de medida, filtro e ampliação) quando necessário.
2. Um complexo sistema de diagnósticos integrado as medidas composto por sentenças lógicas e dinâmicas que habilitam ou bloqueiam diagnósticos de acordo com as informações do contexto, e que gera todo laudo descritivo com base nos diagnósticos selecionados.

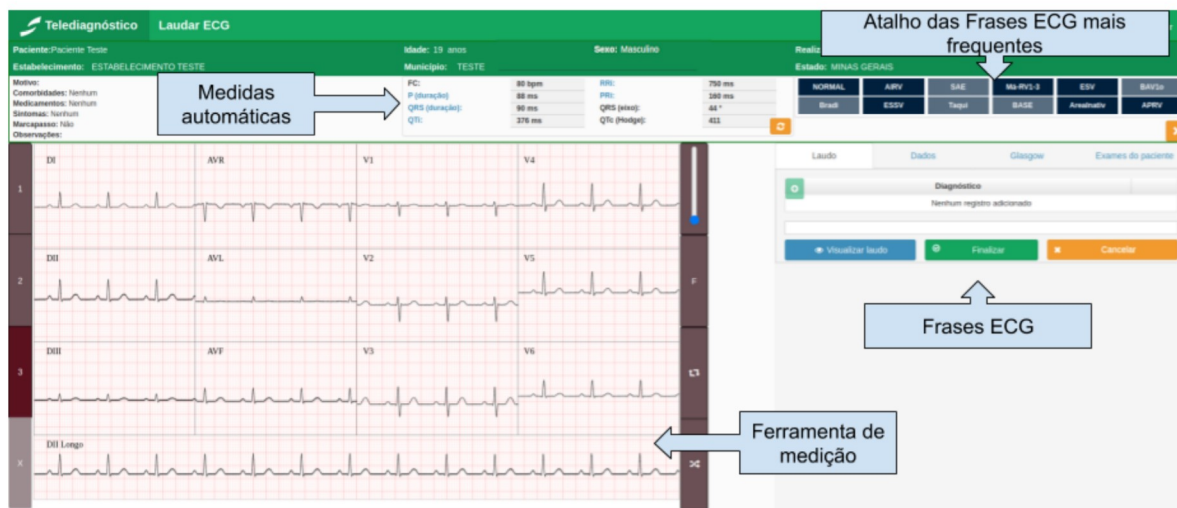


Figura 6.5. Interface de laudo do ECG, componentes de medidas de frases do ECG.

Quando os valores gerados pela análise automática estão fora dos valores de referência para a idade e sexo, estas são destacadas (em vermelho ou amarelo de acordo com a faixa de valores) para chamar a atenção do avaliador, alertando sobre a situação anormal (Figura 6.6).

FC:	89 bpm	RRi:	674 ms
P (duração):	124 ms	PRi:	136 ms
QRS (duração):	104 ms	QRS (eixo):	143 °
QTi:	388 ms	QTc (Hodge):	439

Figura 6.6. Medidas do ECG com alertas para valores fora da faixa de referência.

Os valores das medidas automáticas podem ser facilmente alterados manualmente ou com o auxílio da ferramenta de medição, que possui a opção de atualizar o valor de acordo com a nova medida realizada. Em casos que o sinal possui alguma interferência ou mesmo desnível, o filtro de linha de base pode ser

utilizado para atenuar a distorção sem comprometer a informação contida no sinal. Recursos de zoom, de amplificação ou redução da amplitude, ou da frequência do sinal podem ser utilizados a qualquer momento, para facilitar a análise (Figura 6.7).

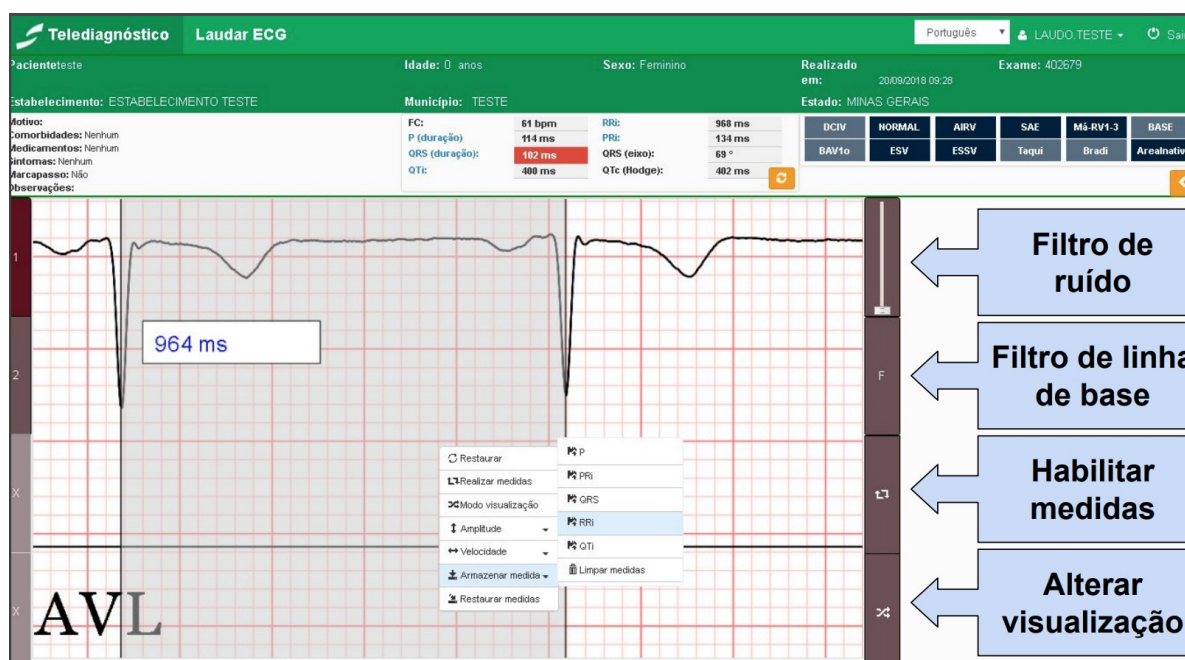


Figura 6.7. Ferramentas de medidas.

Todos os recursos podem ser facilmente acessados e utilizados através de um navegador web. Com apenas alguns movimentos do mouse e poucos cliques, é possível validar e corrigir completamente todas as medidas e informações do exame e finalizar o diagnóstico.

Este utilizando um conjunto de classes de diagnósticos do ECG, foi adaptado a partir das definições da “III Diretrizes SBC para Análise e Emissão de Laudos Eletrocardiográficos” (Pastore et al. [2016]) e das recomendações da “American Heart Association” (AHA/ACCF/HRS) (Surawicz et al. [2009]) (Figura 6.8).

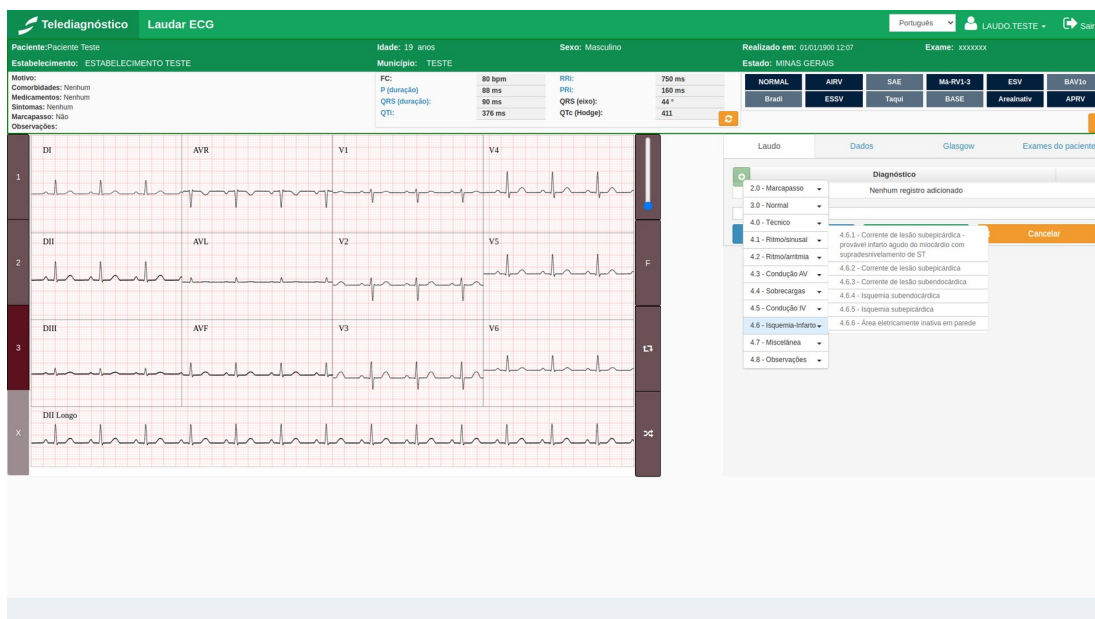


Figura 6.8. Laudo ECG.

Cada diagnóstico possui várias regras baseadas nas suas características intrínsecas, nos dados clínicos e nas medidas dos intervalos e complexos do ECG, que define se o mesmo deve ser habilitado ou bloqueado para o exame. Um modelo de autómatos finitos determinísticos (AFD) (Menezes [1998]) foi utilizado para controlar a transição de estados de forma a respeitar todas as condições, regras e prioridades que cada classe de diagnóstico possui.

Quando um especialista tenta inserir um diagnóstico, o sistema analisa todas as classes já inseridas em conjunto com as variáveis do ECG (onda P, QRS, PRi, RRi, QRS axis, QT_i, QT_c, idade, sexo e os dados clínicos do paciente) para então permitir o acesso à classe desejada.

Quando ocorre o bloqueio do diagnóstico, as condições para que o mesmo seja permitido são exibidas de forma que o especialista precisa realizar as devidas alterações para habilitar o diagnóstico e inserir no exame (Figura 6.9).

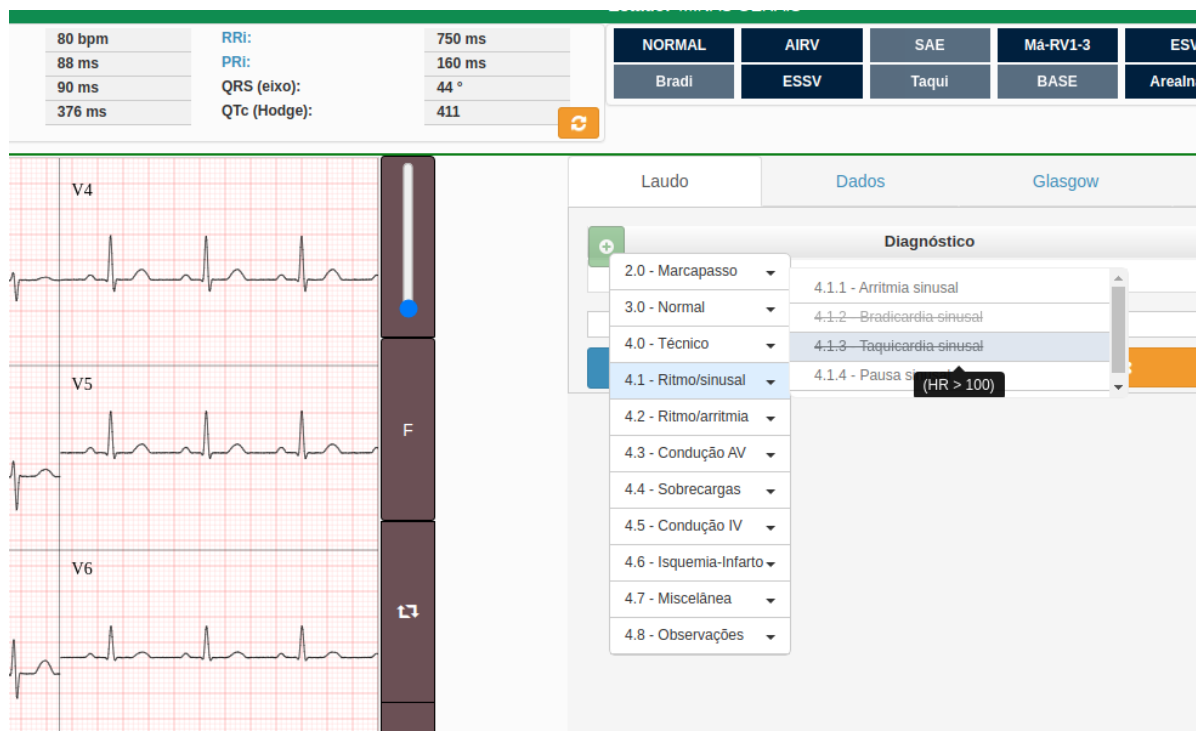


Figura 6.9. Frase ECG bloqueada com notificação de condição.

Essas restrições geradas para cada classe fornecem suporte ao especialista, fazendo com que o diagnóstico final fique totalmente concordante com o detalhamento do laudo e que erros sejam minimizados. Um determinado diagnóstico só poderá ocorrer se condições específicas forem atendidas. Assim, por exemplo, para que seja inserido o diagnóstico de taquicardia sinusal, é obrigatório que a frequência cardíaca (FC) esteja superior a 100 bpm (Surawicz et al. [2009]). Caso esse valor esteja abaixo do valor de referência, o sistema bloqueia a classe, e avisa ao especialista que é necessário realizar o ajuste para que a mesma seja habilitada.

Uma vez que o diagnóstico é inserido no exame, o sistema carrega um modelo pré definido do laudo (modelo do grupo a que pertence à classe do ECG) (Figura 6.10), que é personalizado de acordo com as características agregadas do novo diagnóstico, em áreas específicas do modelo (Figura 6.11). As alterações

realizadas pelas frases possuem regras para coexistirem e ao final gerar um laudo descritivo completo e coerente (Figura 6.12).

Código	Conteúdo	Ordem	Padrão
A - 1	com frequência cardíaca de [HR] bpm	0	<input type="button" value="Não"/>
A - 14	Ritmo sinusal regular	0	<input type="button" value="Sim"/>
B - 2	A onda P tem duração de [P] ms ([[P <=120 normal][P aumentada]])	1	<input type="button" value="Não"/>
B - 15	Ondas P de morfologia normal	1	<input type="button" value="Sim"/>
C - 3	A duração do intervalo PR é de [PRi] ms, sendo considerado [[PRi < 120 curto] [PRi >= 120 && PRi <= 200 normal][PRi prolongado]]	2	<input type="button" value="Não"/>
D - 4	O complexo QRS tem duração de [QRS] ms, [[QRS <= 110 normal][QRS aumentado]], eixo elétrico em [eixoQRS] graus, [[eixoQRS >= -29 && eixoQRS <= 90 normal] [eixoQRS <= -30 desviado para esquerda] [eixoQRS > 90 desviado para direita] [eixoQRS < -90 indefinido]]	3	<input type="button" value="Não"/>
D - 16	Complexo QRS de morfologia normal	3	<input type="button" value="Sim"/>
E - 5	A repolarização ventricular processou-se com intervalo QT corrigido de [QTc] ms, [[[QTc < 450 && sexo == 'M') (QTc < 470 && sexo == 'F') normal][QTc aumentado]]	4	<input type="button" value="Não"/>
E - 17	Repolarização ventricular normal	4	<input type="button" value="Sim"/>
F - 18		5	<input type="button" value="Não"/>

Figura 6.10. Modelo de frases para o Grupo Anormal, com as respectivas segmentações.

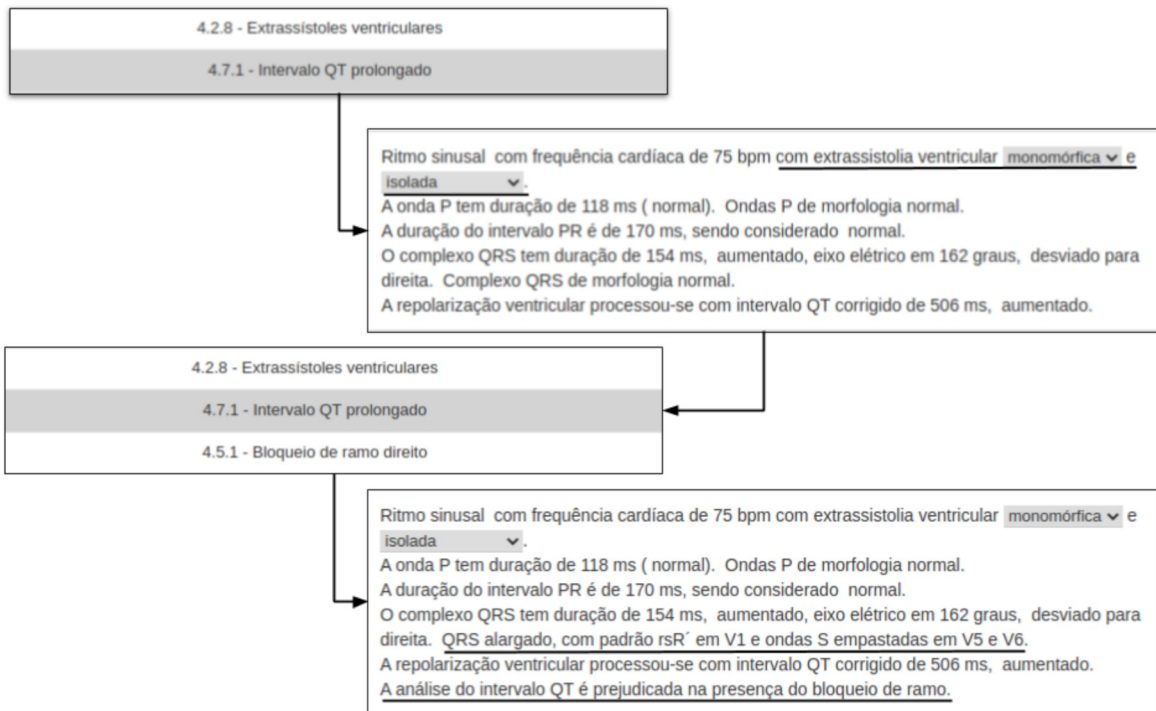


Figura 6.11. Exemplo de alteração do modelo com a adição de novas frases.

Laudo final ×

Ritmo sinusal com frequência cardíaca de 75 bpm com extrasístolia ventricular monomórfica e isolada.
A onda P tem duração de 118 ms (normal). Ondas P de morfologia normal.
A duração do intervalo PR é de 170 ms, sendo considerado normal.
O complexo QRS tem duração de 154 ms, aumentado, eixo elétrico em 162 graus, desviado para direita. QRS alargado, com padrão rsR' em V1 e ondas S empastadas em V5 e V6.
A repolarização ventricular processou-se com intervalo QT corrigido de 506 ms, aumentado.

CONCLUSÃO:

1. Extrasístoles ventriculares
2. Intervalo QT prolongado
3. Bloqueio de ramo direito

A análise do intervalo QT é prejudicada na presença do bloqueio de ramo.

Figura 6.12. Laudo final.

Em alguns tipos de diagnósticos, informações complementares ou mais específicas são necessárias, nesses casos o sistema cria campos de entrada diversos dentro do texto do laudo (campos como caixa de seleção, listas de múltiplas escolhas, campos numéricos, etc) (Figura 6.13).

Ritmo sinusal regular com frequência cardíaca de 80 bpm.
A onda P tem duração de 88 ms (normal). Ondas P de morfologia normal.
A duração do intervalo PR é de 160 ms, sendo considerado normal.
O complexo QRS tem duração de 90 ms, normal, eixo elétrico em 44 graus, normal.
Despolarização ventricular precoce, com aparecimento de onda delta nas derivações

<input type="checkbox"/> DI	<input type="checkbox"/> aVR	<input type="checkbox"/> V1	<input type="checkbox"/> V4
<input type="checkbox"/> DII	<input type="checkbox"/> aVL	<input type="checkbox"/> V2	<input type="checkbox"/> V5
<input type="checkbox"/> DIII	<input type="checkbox"/> aVF	<input type="checkbox"/> V3	<input type="checkbox"/> V6

A repolarização ventricular processou-se com intervalo QT corrigido de 411 ms, normal.
Alterações secundárias da repolarização ventricular.

Figura 6.13. Campos dinâmicos.

Qualquer alteração realizada no laudo é monitorada pelo sistema, de forma que ao modificar o valor de uma das medidas, automaticamente o texto do laudo relacionado aquela medida é atualizado, tanto o valor quanto às inferências realizadas sobre o mesmo. Elimina-se, assim, a necessidade de corrigir o texto manualmente, tornando mais ágil o processo de ajustes do laudo.

O sistema disponibiliza diversas classes diagnósticas ao especialista, que pode selecionar uma ou mais para o mesmo exame. Para cada exame, quando uma nova classe diagnóstica ECG é adicionada, todos os passos descritos são executados novamente, sempre realizando a validação das regras e condições, tratando a compatibilidade sintática e semântica de todas as alterações efetuadas no texto (Figura 6.12 e 6.13). Ao final de todo esse processo, o sistema gera um conjunto estruturado do descritivo das classes ECGs selecionadas, com sentenças concordantes e que pode ser facilmente revisado e ajustada manualmente pelo cardiologista. O fluxo de execução do sistema é apresentado na Figura 6.14.

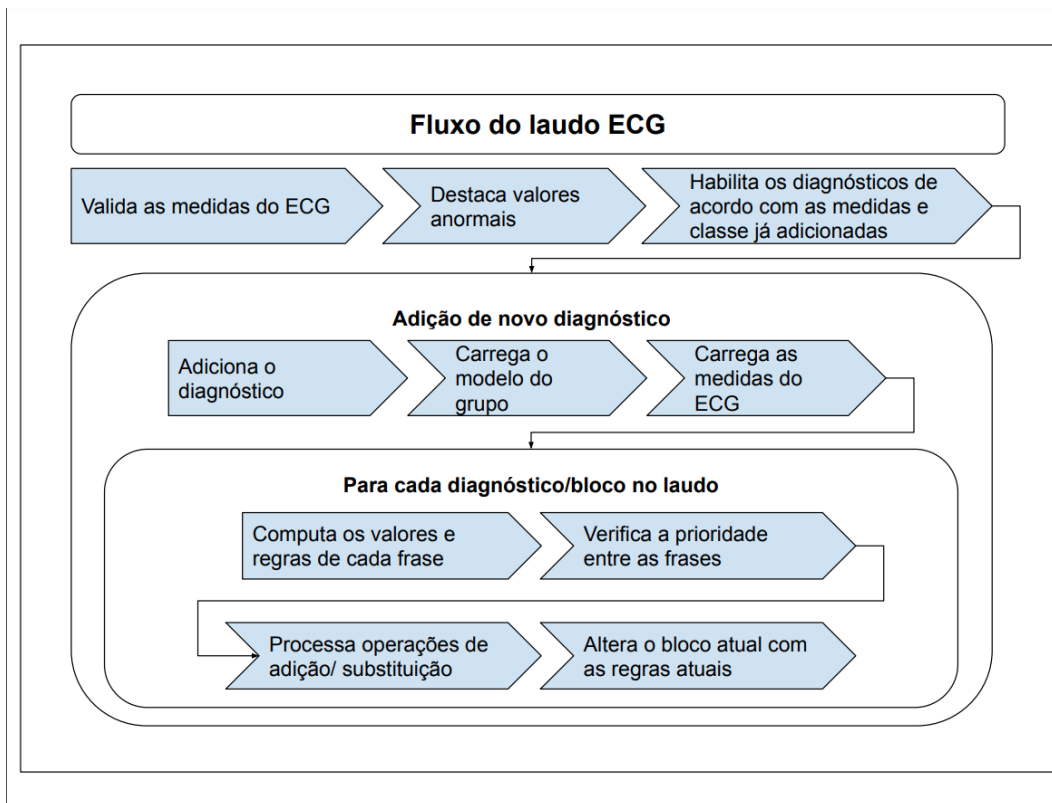


Figura 6.14. Fluxo dos processos realizados no laudo ECG.

A organização e estrutura do fluxo de laudo (Figura 6.14) é baseada no padrão inverso, seguindo a dinâmica do cardiologista que, primeiramente, define o diagnóstico e, depois, valida as medidas. Esta alteração gera um grande impacto no fluxo de trabalho e na usabilidade do sistema, trazendo o sistema mais próximo do usuário.

Todos os mecanismos e ferramentas descritas acima auxiliam o especialista na tomada de decisão, garantindo que apenas será adicionado diagnósticos no exame que sejam concordantes e consistentes com as informações contidas no mesmo. Previne-se, assim, possíveis erros e produz-se um laudo descritivo lógico e consistente dos diagnósticos selecionados, simplificando o processo de laudo e ajudando o especialista a manter o foco na análise do exame.

Em alguns casos, quando a classe ECG está associada a alguma condição

de urgência ou de risco ao paciente, o sistema gera um alerta para a equipe clínica do CTS-HC-UFMG para comunicar aos profissionais responsáveis pelo paciente que o mesmo deve receber os cuidados devidos para evitar qualquer complicação em seu quadro clínico.

Outra ferramenta disponibilizada pelo sistema, é uma "barra" de atalhos dos 12 diagnósticos mais frequentes utilizados por todos os cardiologistas no sistema, essa seleção é atualizada automaticamente todos os dias, tornando mais simples o acesso à classe e acelerando o processo (Figura 6.15).



NORMAL	AIRV	SAE	Má-RV1-3	ESV	BAV1o
Bradi	ESSV	Taqui	BASE	Arealnativ	APRV

Figura 6.15. Barra de atalhos para as Frase ECG.

6.1.2 Avaliação do impacto

Para avaliar a efetividade do novo sistema, os resultados das auditorias foram utilizados como métrica para avaliar se houve melhoria no serviço após a sua implantação. O conjunto de dados utilizado é composto de auditorias realizadas entre 2015/2017 (4313 exames - Tabela 6.1) no sistema antigo e 2018/2019 (2213 exames - Tabela 6.2) realizados no sistema novo, onde foram feitos vários cálculos estatísticos (Tabela 6.3) comparando os resultados entre os sistema e para uma validação consistente. Foram considerados apenas auditorias dos cardiologistas que utilizavam o sistema nas duas versões, de forma a avaliar a real diferença entre a usabilidade dos mesmos usuários em sistemas diferentes, novos cardiologistas foram removidos da análise.

Período	Concordantes (n=3682)	Discordantes (n=631)
2015/4	244 (75,5)	79 (24,5)
2015/5	271 (82,4)	58 (17,6)
2015/6	289 (85,3)	50 (14,7)
2016/1	280 (84,8)	50 (15,2)
2016/2	152 (92,1)	13 (7,9)
2016/3	119 (82,6)	25 (17,4)
2016/4	158 (92,4)	13 (7,6)
2016/5	541 (89,3)	65 (10,7)
2016/6	471 (85,0)	83 (15,0)
2017/1	252 (88,4)	33 (11,6)
2017/2	307 (89,0)	38 (11,0)
2017/3	444 (87,2)	65 (12,8)
2017/6	154 (72,3)	59 (27,7)

Tabela 6.1. Distribuição das auditorias no sistema antigo por bimestre.

Período	Concordantes (n=2022)	Discordantes (n=191)
2018/4	177 (88,9)	22 (11,1)
2018/5	354 (89,6)	41 (10,4)
2018/6	169 (91,8)	15 (8,2)
2019/1	313 (90,7)	32 (9,3)
2019/2	277 (93,3)	20 (6,7)
2019/3	259 (90,9)	26 (9,1)
2019/4	273 (92,5)	22 (7,5)
2019/5	200 (93,9)	13 (6,1)

Tabela 6.2. Distribuição das auditorias no sistema novo por bimestre.

	Antigo		Novo	
	Concordantes	Discordantes	Concordantes	Discordantes
Q1	0,826389	0,110145	0,904485	0,072767
Mediana	0,852507	0,147493	0,913625	0,086375
Q3	0,889855	0,173611	0,927233	0,095515

Tabela 6.3. Sumário estatístico do conjunto de dados.

A amostra dos resultados das auditorias em cada sistema foi testada para identificar suas características. Observou-se que a distribuição não é normal (segundo método de Shapiro-Wilk) e que são independentes (teste de Bartlett). O nível de significância estatística foi definido para valores de p menores que 0,05.

Comparando os resultados das auditorias entre as duas versões do sistema, avaliando a porcentagem dos discordantes, o sistema antigo teve uma mediana de 14,7% (11,0-17,3) e a nova versão de 8,6% (7,3-9,5), o teste de Kruskal-Wallis apontou diferença significativa entre as medianas da porcentagem de laudos discordantes em cada sistema (p -valor=0,004) (Figura 6.16).

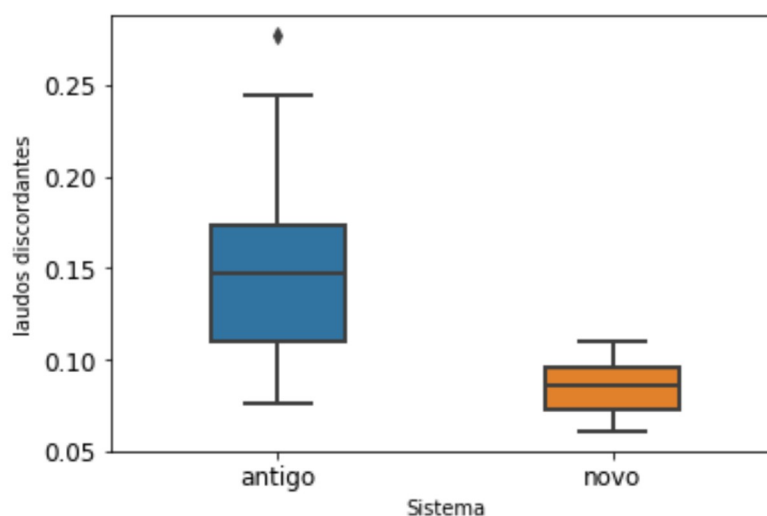


Figura 6.16. Resultado da comparação entre os sistemas.

Outro grande ganho é a geração automática de um laudo descritivo padronizado e completo (Pastore et al. [2016]) baseado apenas nos diagnósticos selecionados, isto ajuda médicos e enfermeiros (Miller [2019]) que estão em uma unidade de saúde distante, fornecendo não só o diagnóstico para o exame mas também informações detalhadas sobre os principais achados que evidenciam o diagnóstico do exame do paciente.

6.2 Discussão

Com a ampliação da RTMG, surgiu a necessidade de incorporação de novas tecnologias para melhorar a qualidade do serviço prestado, como bem o armazenamento dos dados gerados pelo sistema. O desenvolvimento do sistema de laudos de ECG integrado a ferramentas de suporte à decisão reduziu a discordância entre os laudos médicos e gerou uma base de ECG com laudo médico padronizado e dividido em classes diagnósticas previamente estabelecidas.

6.2.1 Impacto na prática clínica

O sistema desenvolvido permite a avaliação do ECG com recursos que melhoram a qualidade do laudo por apresentar os dados discretos de cada classe de diagnóstico, os valores anormais para cada medida, as regras de compatibilidade entre as medidas e as anormalidades eletrocardiográficas e a descrição do laudo completo com observações clínicas de forma automática. Esses recursos resultaram em uma redução na taxa de discordância entre

especialistas, além de um laudo mais homogêneo e completo para o profissional de saúde solicitante.

A redução no tempo do laudo do ECG é outro fator importante, uma vez que a tele-eletrocardiografia expandiu e diversos centros de saúde dependem do laudo do especialista para o atendimento do paciente. Zhang et al. 2018 apresentaram um sistema para avaliação de exames de ECG em uma plataforma baseada em nuvem, em que os exames são realizados e enviados para um servidor aonde ficam disponíveis para avaliação pelos especialistas via “smartphone”. Os ECGs são armazenados na central em formato DICOM, e em seguida, transmitidos e analisados para os especialistas através de imagens no formato JPG. O sistema propicia maior agilidade na avaliação dos exames e reduz o tempo de espera do paciente na avaliação de um especialista, que é o foco do sistema apresentado (Zhang et al. [2018]).

6.2.2 Sistema de suporte à decisão

Os SADs processam as informações de entrada, com base no conhecimento de especialistas e geram uma saída que servirá de apoio a tomada de decisão do usuário. Para o processo funcionar, é mandatório que o sistema considere a aplicabilidade prática e o contexto em que será inserido.

Na área médica, 60% dos SADs não alcançaram resultados satisfatórios que provem sua efetividade, com um valor ainda menor, cerca de 40%, no campo de diagnóstico (Liu et al. [2006]; Garg et al. [2005]). Os fatores responsáveis para seu insucesso são a falta de interação com o usuário, fluxo não condizente com o realizado e o emprego de recursos tecnológicos sofisticados sem aplicabilidade na prática real.

O nosso sistema de laudos de ECG só apresentou sucesso e aceitação por parte dos cardiologistas, quando mimetizou o processo real do laudo realizado pelo especialista. As versões iniciais não eram tão sofisticadas quanto a atual. Houve uma evolução importante após a interação entre os usuários especialistas e a equipe técnica, sendo este um processo contínuo.

Cairns et al. apresentaram um SAD para melhoria na interpretação do ECG, seguindo uma proposta semelhante à nossa. Desenvolveram o “*Differential Diagnoses Algorithm*” (DDA) integrado a uma plataforma web, em que os ECGs são classificados e anotados por especialistas. O DDA é um algoritmo baseado em regras que utiliza informações geradas na avaliação do ECG para alertar o especialista. Para cada regra, quando pelo menos 50% dos critérios são atendidos, o alerta é exibido, assim como os seus critérios. Houve melhora da acurácia em 8,7% com o uso do DDA, porém não foi estatisticamente significativo (valor $p = 0,19$) (Cairns et al. [2017]).

Apesar da proposta apresentada por Cairns et al. se assemelhar à nossa por fornecer recursos para a tomada de decisão médica, não há ferramentas que restringem o especialista de laudar classes diagnósticas incompatíveis com os achados do exame. Além disso, o objetivo do nosso sistema é guiar o especialista para um diagnóstico coerente com os dados disponíveis, ao passo que o DDA busca definir o diagnóstico para o exame.

Outra ferramenta de suporte para interpretação de ECG publicada por Breen et al. possui uma abordagem diferente da nossa com um formulário dinâmico de perguntas, baseado nas informações eletrocardiográficas, para que o usuário siga um fluxo definido e chegue a um diagnóstico final. Esse sistema foi desenvolvido para estudantes que ainda estão em fase de aprendizado com bons resultados

(Breen et al. [2019]). No entanto, para um serviço de tele-eletrocardiografia com cardiologistas experientes, esse processo é cansativo, repetitivo e aumenta o tempo de laudo por exame. A flexibilidade do nosso sistema consiste no fato do especialista não ser obrigado a executar a validação de todas as características do ECG para a sua conclusão final, mas apenas as obrigatórias para cada classe de diagnóstico eletrocardiográfico.

O uso de SAD associado à inteligência artificial foi proposto para a classificação do ECG (Lassoued et al. [2018]) (Alickovic & Subasi [2016]). No entanto, o sistema somente classifica em algumas classes pré definidas e não abrange todos os possíveis diagnósticos eletrocardiográficos que podem ocorrer na prática clínica. A ferramenta é promissora, mas precisa ser aprimorada para aplicabilidade clínica.

6.2.3 Limitações

O serviço de Telediagnóstico fornecido pela RTMG trabalha também com exames de ECO, Holter, Mapa e Retinografia. A solução foi elaborada primariamente para laudos de ECG, porém pode ser adaptada a outros contextos. Isso exige um certo trabalho por conta da formulação do modelo base e da concordância (sintática e semântica) do laudo gerado.

Por conta dessa validação inicial necessária, o sistema atende apenas ao idioma português.

6.2.4 Perspectivas futuras

A internacionalização do sistema é uma atividade necessária por conta de

parcerias em projetos de pesquisa, o qual a ferramenta é utilizada, portanto, a elaboração dos modelos e das frases em inglês é algo inevitável.

Hoje o sistema trabalha com a análise de exames capturados e transmitidos que possuem o sinal do ECG, isso permite a utilização do software de Glasgow para o pré-processamento. Porém, demandas para analisar exames transmitidos em formato de imagem, pode se tornar uma realidade, para isso é necessário reajustar todas as ferramentas de manipulação do exame.

Métodos tradicionais de análise e classificação de ECGs, apresentam um limite na assertividade dos resultados. Nos últimos anos, o uso de recursos de Inteligência Artificial tem se tornado cada vez mais comum em todas as áreas, devido à alta acurácia alcançada por tais abordagens. A integração do sistema com tais recursos é necessária.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Doenças cardiovasculares são as principais causas de morte no mundo e o eletrocardiograma, exame essencial na avaliação cardiológica, possibilita a estratificação de risco dos pacientes de forma simples e rápida principalmente na atenção primária. A avaliação correta do exame, aumenta a taxa de sobrevivência do paciente, tanto em casos onde o mesmo deve se deslocar a uma unidade de atendimento distante da sua localidade quanto nos casos de risco de morte.

No serviço de telecardiologia, a avaliação do especialista é de suma importância para os cuidados do paciente atendido remotamente, por conta da falta de informação sobre o local de atendimento ou mesmo das circunstâncias a qual o paciente foi atendido, uma vez a avaliação concluída, é avaliado quais os procedimentos a serem realizados em casos graves ou de risco.

Por conta da importância do atendimento ao paciente, a ferramenta utilizada pelo especialista necessita ser segura, confiável e que facilite o processo de avaliação do exame, disponibilizando os principais recursos para análise e meios para que a melhor decisão seja tomada quanto ao diagnóstico final para o exame.

A tecnologia propicia criar ferramentas que se adaptam aos mais diversos fluxos ou situações, isso traz inúmeras possibilidades de melhorias, mas ela só faz sentido quando é aplicável em situações reais, que não impeça o fluxo de trabalho do profissional, mas que o complemente e auxilie de forma eficiente na tomada de decisão.

A participação direta no serviço e em atividades do grupo de pesquisa (RIBEIRO et al. [2019]) é de grande importância, pois muito tem sido desenvolvido

pelo grupo, e tudo que é promissor e adequado à realidade do serviço, tem sido incorporado para inovar e melhorar a qualidade do serviço prestado. À medida que o serviço evolui, novas pesquisas surgem e a partir do resultado delas, o serviço é aprimorado.

8. CONCLUSÕES

Doenças cardiovasculares são as principais causas de morte no mundo, o que levanta a necessidade de estratégias e recursos para melhorar a assistência prestada à área. A proposta desenvolvida vem em encontro a essa necessidade, é uma ferramenta criada para propiciar recursos para melhor avaliação dos exames de ECG, em um serviço de teleassistência, que o foco é o atendimento ao paciente e suporte ao profissional de saúde remoto.

Com o aumento do acesso ao ECG e ampliação da rede, ferramentas mais adequadas a atender essa nova realidade, foram necessárias, o uso de sistemas de suporte à decisão na área da saúde podem trazer um impacto positivo, melhorando o processo e a qualidade quando devidamente incorporados ao contexto real e desde que seu objetivo não sobreponha ao foco do processo real. Como ferramenta, os benefícios são maiores quando o sistema especializado for adequadamente customizado para o contexto empregado, e como no caso apresentado, participando do processo como um assistente, alertando devidamente as situações e detalhes que por conta da rotina e fluxo de trabalho, podem passar despercebidos.

Além de auxiliar o processo de avaliação, a avaliação do exame é realizada utilizando uma lista categórica de diagnósticos, que é baseada nas melhores diretrizes da área, esta informação é armazenada de forma estruturada, facilitando o processo de utilização dos dados gerados. A medida que os diagnósticos são selecionados o sistema gera um laudo padronizado, descritivo e completo das principais características do exame, o qual foi desenvolvido, validado e implementado com sucesso.

Foi possível verificar a qualidade dos laudos gerados do sistema desenvolvido, pela análise dos dados gerados das auditorias periódicas, o qual apresentou queda na discordância de 6,1%(14,7% para 8,6%) entre o especialista e o revisor sênior, resultado é estatisticamente significativo(p -valor < 0,01).

O sistema é flexível para incorporar novas funcionalidades ou mesmo a ser integrado com outros sistemas. Existem recursos mais avançados voltados à análise do ECG, que utilizam inteligência artificial (IA), estes podem agregar mais informações ao especialista e trazer mais benefícios ao processo de análise do ECG e no atendimento prestado ao paciente remoto da atenção básica de saúde.

O novo sistema abre a possibilidade de novas melhorias, seja pela incorporação de ferramentas de triagem e análise automática adicional, seja alertando os médicos especialistas sobre diagnósticos automáticos ou possibilidades levantadas pelo contexto. O resultado final é a ampliação da oferta do eletrocardiograma para o conjunto da população brasileira, com potencial melhoria do cuidado às doenças cardiovasculares.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agustí, A., Celli, B., & Faner, R. (2017). What does endotyping mean for treatment in chronic obstructive pulmonary disease?. *The Lancet*, 390(10098), 980-987.

Alickovic, E. & Subasi, A. (2016). Medical decision support system for diagnosis of heart arrhythmia using dwt and random forests classifier. *Journal of medical systems*,40(4):108.

Alkmim, M. B.; Figueira, R. M.; Marcolino, M. S.; Cardoso, C. S.; Abreu, M. P. d.; Cunha, L. R.; Cunha, D. F. d.; Antunes, A. P.; Resende, A. G. d. A.; Resende, E. S. et al. (2012). Improving patient access to specialized health care: the telehealth network of Minas Gerais, Brazil. *Bulletin of the World Health Organization*, 90:373--378.

Benjamin, E. J.; Muntner, P. & Bittencourt, M. S. (2019). Heart disease and stroke statistics-2019 update: a report from the American Heart Association. *Circulation*,139(10):e56--e528.

Blackburn, H.; Keys, A.; Simonson, E.; Rautaharju, P. & Punsar, S. (1960). The electrocardiogram in population studies: a classification system. *Circulation*, 21(6):1160--1175.

Bonow, R. O.; Mann, D. L.; Zipes, D. P. & Libby, P. (2011). Braunwald's heart disease e-book: a textbook of cardiovascular medicine. Elsevier Health Sciences.

Breen, C.; Bond, R. & Finlay, D. (2019a). A clinical decision support tool to assist with the interpretation of the 12-lead electrocardiogram. *Health informatics journal*,25(1):51--61

Cahan, A. & Cimino, J. J. (2017). A learning health care system using computer-aided diagnosis. *Journal of medical Internet research*, 19(3):e54.

Cairns, A. W.; Bond, R. R.; Finlay, D. D.; Guldenring, D.; Badilini, F.; Libretti, G.; Peace, A. J. & Leslie, S. J. (2017). A decision support system and rule-based algorithm to augment the human interpretation of the 12-lead electrocardiogram. *Journal of electrocardiology*, 50(6):781--786.

Chung, D.; Choi, J.; Jang, J.-H.; Kim, T. Y.; Byun, J.; Park, H.; Lim, H.-S.; Park, R. W. & Yoon, D. (2018). Construction of an electrocardiogram database including 12 lead waveforms. *Healthcare informatics research*, 24(3):242--246.

Clifford, G. D.; Azuaje, F.; McSharry, P. et al. (2006). Advanced methods and tools for ECG data analysis. Artech house Boston.

Clifford, G. D.; Liu, C.; Moody, B.; Li-wei, H. L.; Silva, I.; Li, Q.; Johnson, A. & Mark, R. G. (2017). Af classification from a short single lead ecg recording: the physionet/computing in cardiology challenge 2017. *Em2017 Computing in Cardiology(CinC)*, pp. 1--4. IEEE.

Davidenko, J. M. & Snyder, L. S. (2007). Causes of errors in the electrocardiographic diagnosis of atrial fibrillation by physicians. *Journal of electrocardiology*, 40(5):450--456.

- Dean Jr, J. W. & Sharfman, M. P. (1996). Does decision process matter? a study of strategic decision-making effectiveness. *Academy of management journal*, 39(2):368--392.
- Dijk, J. & van Loon, B. (2006). Scanning our past from the netherlands: The electrocardiogram centennial: Willem einthoven (1860-1927). *Proceedings of the IEEE*, 94(12):2182--2185.
- Elgendi, M.; Eskofier, B.; Dokos, S. & Abbott, D. (2014). Revisiting qrs detection methodologies for portable, wearable, battery-operated, and wireless ecg systems. *PloS one*, 9(1):e84018.
- Feldman, J. & Goldwasser, G. P. (2004). Eletrocardiograma: recomendações para a sua interpretação. *Revista da SOCERJ*, 17(4):251--256.
- Garg, A. X.; Adhikari, N. K.; McDonald, H.; Rosas-Arellano, M. P.; Devereaux, P. J.; Beyene, J.; Sam, J. & Haynes, R. B. (2005). Effects of computerized clinical decision support systems on practitioner performance and patient outcomes: a systematic review. *Jama*, 293(10):1223--1238.
- Gorry, G. A. & Scott Morton, M. S. (1971). A framework for management information systems.
- Guglin, M. E. & Thatai, D. (2006). Common errors in computer electrocardiogram interpretation. *International journal of cardiology*, 106(2):232--237.
- Hampton, J. & Hampton, J. (2019). *The ECG Made Easy E-Book*. Elsevier Health Sciences.
- Harrison, E. F. (1995). *The managerial decision-making process, volume 4*. Houghton Mifflin Boston, MA.
- Hayn, D.; Jammerbund, B. & Schreier, G. (2011). Ecg quality assessment for patient empowerment in mhealth applications. *Em 2011 Computing in Cardiology*, pp. 353--356. IEEE.
- Holbrook, A.; Xu, S. & Banting, J. (2003). What factors determine the success of clinical decision support systems? *Em AMIA Annual Symposium Proceedings, volume 2003*, p. 862. American Medical Informatics Association.
- Hsieh, J.-c. & Hsu, M.-W. (2012). A cloud computing based 12-lead ecg telemedicine service. *BMC medical informatics and decision making*, 12(1):77.
- Hurst, J. W. (2000). Methods used to interpret the 12-lead electrocardiogram: Pattern memorization versus the use of vector concepts. *Clinical cardiology*, 23(1):4--13.
- Keen, P. G. & Morton, S. (1978). *Ms (1978). Decision support systems: An organizational perspective*.
- Krasteva, V. T.; Jekova, I. I. & Christov, I. I. (2006). Automatic detection of premature atrial contractions in the electrocardiogram. *Electrotechniques Electronics E & E*, 9:10.

- Lassoued, H.; Ketata, R. & Yacoub, S. (2018). Ecg decision support system based on feedforward neural networks. *International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems*, 11(1):1N-1N
- Little, J. D. (1970). Models and managers: The concept of a decision calculus. *Management science*, 16(8):B--466.
- Liu, J.; Wyatt, J. C. & Altman, D. G. (2006). Decision tools in health care: focus on the problem, not the solution. *BMC Medical Informatics and Decision Making*, 6(1):4.
- Loscalzo, J., & Barabasi, A. L. (2011). Systems biology and the future of medicine. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Systems Biology and Medicine*, 3(6), 619-627.
- Macfarlane, P.; Devine, B. & Clark, E. (2005). The University of Glasgow (uni-g) ecg analysis program. *Em Computers in Cardiology*, 2005, pp. 451--454. IEEE.
- Maia, J. X.; de Sousa, L. A. P.; Marcolino, M. S.; Cardoso, C. S.; da Silva, J. L. P.; Alkmim, M. B. M. & Ribeiro, A. L. P. (2016). The impact of a clinical decision support system in diabetes primary care patients in a developing country. *Diabetes technology & therapeutics*, 18(4):258--263.
- Marakas, G. M. (2003). *Decision support systems in the 21st century*, volume 134. Prentice Hall Upper Saddle River, NJ.
- Marcolino, M. S.; Santos, T. M. M.; Stefanelli, F. C.; Oliveira, J. A. d. Q.; Júnior, A.; Ferreira, D.; Ribeiro, A. L. et al. (2017). Cardiovascular emergencies in primary care: an observational retrospective study of a large-scale telecardiology service. *São Paulo Medical Journal*, 135(5):481--487.
- Media, A. M. (2020). Poster da atividade elétrica do coração de ecg. Disponível em: <https://www.alilamedicalmedia.com/-/galleries/images-only/heart-and-circulatory-system-images>. Acesso em 27 maio de 2020.
- Menezes, P. B. (1998). *Linguagens formais e autômatos*. Sagra-Dcluzzato.
- Miller, S. K. (2019). 12-lead electrocardiographic interpretation for nurse practitioners. *The Journal for Nurse Practitioners*, 15(1):110--117.
- Mincholé, A.; Camps, J.; Lyon, A. & Rodríguez, B. (2019). Machine learning in the electrocardiogram. *Journal of electrocardiology*.
- Moreira, M. W.; Rodrigues, J. J.; Korotaev, V.; Al-Muhtadi, J. & Kumar, N. (2019). A comprehensive review on smart decision support systems for healthcare. *IEEE Systems Journal*, 13(3):3536--3545.
- Novotny, T.; Bond, R.; Andrsova, I.; Koc, L.; Sisakova, M.; Finlay, D.; Guldenring, D.; Spinar, J. & Malik, M. (2017). The role of computerized diagnostic proposals in the interpretation of the 12-lead electrocardiogram by cardiology and non-cardiology fellows. *International journal of medical informatics*, 101:85--92.
- Obe, R. O. & Hsu, L. S. (2017). *PostgreSQL: Up and Running: a Practical Guide to the*

Advanced Open Source Database. "O'Reilly Media, Inc."

Osler, William. The principles and practice of medicine. D. Appleton and Company, 1912.

Pastore, C.; Pinho, J.; Pinho, C.; Samesima, N.; Pereira Filho, H.; Kruse, J.; Paixão, A.; Pérez-Riera, A.; Ribeiro, A.; Oliveira, C. et al. (2016). III diretrizes da sociedade brasileira de cardiologia sobre análise e emissão de laudos eletrocardiográficos. *Arquivos Brasileiros de Cardiologia*, 106(4):1--23.

Pop, D.-P. & Altar, A. (2014). Designing an mvc model for rapid web application development. *Procedia Engineering*, 69:1172--1179.

Ramos, Â. P. & Sousa, B. S. (2007). Eletrocardiograma: princípios, conceitos e aplicações. *Centro de Estudos de Fisiologia do Exercício*, 9.

Ribeiro, Antonio Luiz P., et al. "Tele-electrocardiography and bigdata: the CODE (Clinical Outcomes in Digital Electrocardiography) study." *Journal of electrocardiology* 57 (2019): S75-S78.

Safdar, S.; Zafar, S.; Zafar, N. & Khan, N. F. (2018). Machine learning based decision support systems (dss) for heart disease diagnosis: a review. *Artificial Intelligence Review*, 50(4):597--623

Santana-Santos, E.; Pires, E. C.; Teixeira Silva, J.; Sallai, V. S.; Gutierrez Bezerra, D. & de Lucena Ferretti-Rebustini, R. E. (2017). Habilidade dos enfermeiros na interpretação do eletrocardiograma de 12 derivações. *Revista Baiana de Enfermagem*,31(1).

Silva, I.; Moody, G. B. & Celi, L. (2011). Improving the quality of ecgs collected using mobile phones: The physionet/computing in cardiology challenge 2011. Em *2011 Computing in Cardiology*, pp. 273--276. IEEE.

Simon, H. A. (1960). *The new science of management decision*.

Soriano Marcolino, M.; Minelli Figueira, R.; Pereira Afonso dos Santos, J.; Silva Cardoso, C.; Luiz Ribeiro, A. & Alkmim, M. B. (2016). The experience of a sustainable large scale brazilian telehealth network. *Telemedicine and e-Health*, 22(11):899--908.

Surawicz, B.; Childers, R.; Deal, B. J. & Gettes, L. S. (2009). Aha/accf/hrs recommendations for the standardization and interpretation of the electrocardiogram: part iii: intraventricular conduction disturbances a scientific statement from the american heart association electrocardiography and arrhythmias committee, council on clinical cardiology; the american college of cardiology foundation; and the heart rhythm society endorsed by the international society for computerized electrocardiology. *Journal of the American College of Cardiology*, 53(11):976--981.

Thaler, M. (2017). *The only EKG book you'll ever need*. Lippincott Williams & Wilkins.

Tsipouras, M. G.; Fotiadis, D. I. & Sideris, D. (2002). Arrhythmia classification using the rr-interval duration signal. Em *Computers in cardiology*, pp. 485--488. IEEE.

Turban, E.; Sharda, R. & Delen, D. (2010). *Decision support and business intelligence*

systems (required). Google Scholar.

Veloso, A.; Meira Jr, W.; Gonçalves, M.; Almeida, H. M. & Zaki, M. (2011). Calibrated lazy associative classification. *Information Sciences*, 181(13):2656--2670.

Veloso, A.; Meira Jr, W. & Zaki, M. J. (2006). Lazy associative classification. Em *Sixth International Conference on Data Mining (ICDM'06)*, pp. 645--654. IEEE.

Vos, T.; Abajobir, A. A.; Abate, K. H.; Abbafati, C.; Abbas, K. M.; Abd-Allah, F.; Abdulkader, R. S.; Abdulle, A. M.; Abebo, T. A.; Abera, S. F. et al. (2017). Global, regional, and national incidence, prevalence, and years lived with disability for 328 diseases and injuries for 195 countries, 1990–2016: a systematic analysis for the global burden of disease study 2016. *The Lancet*, 390(10100):1211--1259.

Winkler, C.; Funk, M.; Schindler, D. M.; Hemsey, J. Z.; Lampert, R. & Drew, B. J. (2013). Arrhythmias in patients with acute coronary syndrome in the first 24 hours of hospitalization. *Heart & Lung*, 42(6):422--427.

Yelshyna, D. & Costa, E. (2015). Aquisição e processamento digital de eletrocardiograma.

Zhang, X.-S.; Leu, F.-Y.; Yang, C.-W. & Lai, L.-S. (2018). Healthcare-based on cloud electrocardiogram system: A medical center experience in middle taiwan. *Journal of medical systems*, 42(3):39.