

**MODELAGEM
COMPUTACIONAL
DE CONHECIMENTO**

**UM SISTEMA EVOLUTIVO PARA AUXILIAR O DIAGNÓSTICO DA
CIFOSE E LORDOSE**

ANTONIO CARLOS DE LIMA FILHO

acfilho82@gmail.com

Orientador

EVANDRO DE BARROS COSTA

Co-orientadora:

ROBERTA VILHENA VIEIRA LOPES

MACEIÓ

2021

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecário: Marcelino de Carvalho Freitas Neto – CRB-4 – 1767

L732s Lima Filho, Antonio Carlos de.
Um sistema evolutivo para auxiliar o diagnóstico da cifose e lordose / Antonio Carlos de Lima Filho. – 2021.
118 f. : il.

Orientador: Evandro de Barros Costa.
Dissertação (mestrado em Modelagem Computacional de Conhecimento) –
Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Computação. Maceió, 2021.

Bibliografia: f. 112-118.

1. Algoritmos genéticos. 2. Coluna vertebral. 3. Cifose. 4. lordose. I. Título.

CDU: 004.421:616.711-007.5/.3

ANTONIO CARLOS DE LIMA FILHO

**UM SISTEMA EVOLUTIVO PARA AUXILIAR O DIAGNÓSTICO DA
CIFOSE E LORDOSE**

ANTONIO CARLOS DE LIMA FILHO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Modelagem Computacional de Conhecimento, Instituto de Computação da Universidade Federal de Alagoas, como requisito para obtenção do título de mestre.

Orientador: Evandro de Barros Costa

MACEIÓ

2021

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, fonte de todo amor, sabedoria, misericórdia, refúgio, força e fortaleza, a quem busco a todo tempo.

A minha mãe Ednil, por ser a maior responsável por minhas conquistas; fonte direta de minha inspiração, que amarei eternamente e serei grato por tudo e para sempre.

A minha filha Maria Clara, que com seu sorriso sempre me deu forças para continuar com esse sonho.

A minha querida esposa Ana Paula pela confiança, paciência, apoio e amor por mim em todas as fases.

Aos meus sobrinhos, Júnior, Guilherme que amo e os tenho como filhos.

A professora Roberta Vilhena, por ter aceitado ser minha co-orientadora e ter acreditado no meu trabalho.

Ao professor Evandro por ter aceitado ser meu orientador e por acreditar no meu trabalho.

Ao meu irmão Eurico e minha irmã Edja por fazerem parte da minha vida, e espero que até o final dela.

Aos meus tios e tias em especial a tia Val e Antônia e meu tio José, por terem acompanhado de perto minha formação acadêmica e profissional, aos meus primos e primas.

Aos meus amigos Paulo Cunha e Adriano Carnaúba, e por fim e não menos importante, a todos que de alguma forma direta ou indireta contribuíram para meu crescimento acadêmico e profissional.

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho em memória dos meus avós Amaro Lins da Rocha e Amara Francisca dos Santos Rocha, os quais me proporcionaram em minha infância momentos incríveis e inesquecíveis, dos quais sinto uma imensa saudade.

Há homens que lutam um dia e são bons, há outros que lutam um ano e são melhores, há os que lutam muitos anos e são muito bons. Mas há os que lutam toda a vida e estes são imprescindíveis.

(Bertolt Brecht).

RESUMO

Este trabalho propõe a implementação de uma variação do algoritmo genético de Holland, para acompanhar a evolução da postura de um paciente através da análise de exames realizados pelo próprio paciente com a ajuda de um dispositivo móvel. O objetivo desse sistema é auxiliar o paciente a identificar a presença de alterações na coluna denominadas de cifose e lordose, momento em que o paciente precisará procurar ajuda médica. Para tanto, o sistema deverá receber informações sobre os limites dos ângulos da coluna considerados normais, aceitáveis e críticos para a cifose e lordose. Em seguida, o sistema passará a auxiliar mensalmente a realização do diagnóstico, gerado a partir de uma foto de perfil do paciente tirada por um dispositivo móvel, da qual é extraída um conjunto de informações, as quais são registradas em uma base de dados, para serem analisadas por um algoritmo genético. O algoritmo genético gera várias possibilidades de evolução para a coluna do paciente baseado nas informações registradas na base de dados, se estas informações conduzirem o algoritmo genético a encontrar uma situação considerado crítica para o paciente nos próximos mês, o sistema irá exibir uma mensagem na tela do celular informando ao paciente a necessidade do mesmo procurar um médico para avaliar sua coluna. Para validar a implementação do referido sistema, foram feitas simulações com imagem geradas com o photoshop. Os resultados obtidos com essas simulações demonstram a capacidade do sistema em prever com antecedência alterações na postura do paciente que podem levar a uma cifose ou lordose.

Palavras-chave: Algoritmo Genético; Coluna Vertebral; Cifose; Lordose.

ABSTRACT

This work proposes the implementation of a variation of Holland's genetic algorithm to monitor the evolution of a patient's posture through the analysis of exams performed by the patient with the aid of a mobile device. The purpose of this system is to help the patient to identify the presence of changes in the spine called kyphosis and lordosis, at which time the patient will need to seek medical help. Therefore, the system must receive information about the limits of the spine angles considered normal, acceptable and critical for kyphosis and lordosis. Then, the system will monthly assist in making the diagnosis, generated from a photo of the patient's profile taken by a mobile device, from which a set of information is extracted, which is recorded in a database, to be analyzed by a genetic algorithm. The genetic algorithm generates several evolution possibilities for the patient's spine from the information recorded in the database, if this information leads the genetic algorithm to find a situation considered critical for the patient in the coming months, the system will display a message on the screen cell phone informing the patient of the need to see a doctor to have their spine evaluated. To validate the implementation of this system, simulations were carried out with images generated with photoshop. The results obtained with these simulations demonstrate the system's ability to predict in advance changes in the patient's posture that can lead to kyphosis or lordosis.

Keywords: Genetic Algorithm; Spine; Pathologies; App; Kyphosis; Lordosis.

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 – Dados armazenados na base de dados do sistema.....	67
---	----

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Anatomia da coluna vertebral, (A) visão lateral e (B) visão posterior.....	22
Figura 2.2 - Visão superior de uma vértebra torácica.....	23
Figura 2.3 - Medição da cifose torácica pelo método de Cobb.....	24
Figura 2.4 – Representação em perfil dos ângulos da coluna para identificação da lordose.....	26
Figura 2.5 – Pantógrafo.....	31
Figura 2.6 – Cifolordômetro.....	32
Figura 2.7– Spinalmouse.....	32
Figura 2.8– Cifômetro de Debrunner.....	33
Figura 2.9 - Flexicurva.....	34
Figura 2.10 - Arcômetro.....	34
Figura 2.11 – Câmera Infravermelha.....	35
Figura 2.12 – Frontal Anterior (SAPO).....	37
Figura 13 – Vista Frontal Posterior (SAPO).....	39
Figura 2.14 – Vista Lateral Direita (SAPO).....	40
Figura 2.15 – Vista Lateral Esquerda (SAPO).....	42
Figura 2.16 – Avaliação do programa Corel Draw.....	43
Figura 3.1 - Exemplo de cruzamento.....	49
Figura 3.2 - Exemplo de mutação.....	50
Figura 3.3 - Exemplo de inversão.....	50
Figura 3.4 - Exemplo de equivalência da inversão com a mutação.....	51
Figura 3.5 - Exemplo de cruzamento de vários pontos de corte.....	54
Figura 3.6 - Exemplo de cruzamento de vários pontos de corte.....	55
Figura 3.7 - Exemplo por troca mutação.....	56
Figura 4.1 – Arquitetura do COLUMN.....	59
Figura 4.2 - Arquitetura do módulo de diagnóstico do COLUMN.....	60
Figura 4.3 – Imagem mostrando T1, T4, T12 os ângulos da cifose.....	61
Figura 4.4 – Imagem mostrando T12, L4 e S1 e os ângulos da lordose.....	62
Figura 4.5 - Exemplo de cruzamento por média aritmética.....	66
Figura 4.6 - Exemplo por acréscimo.....	66
Figura 4.7 – Convergência com taxa limitada pela média e 2 fotos.....	68
Figura 4.8 – Evolução dos ângulos com taxa limitada pela média e 2 fotos.....	68

Figura 4.9 – Convergência com taxa limitada pela média e 4 fotos.....	69
Figura 4.10 – Evolução dos ângulos com taxa limitada pela média e 4 fotos.....	69
Figura 4.11 – Convergência com taxa limitada pela média e 6 fotos.....	70
Figura 4.12 – Evolução dos ângulos, com taxa limitada pela média e 6 fotos.....	71
Figura 4.13 – Convergência com taxa limitada pela média e 8 fotos.....	71
Figura 4.14 – Evolução dos ângulos, com taxa limitada pela média e 8 fotos.....	71
Figura 4.15 – Convergência com taxa limitada pela média e 10 fotos.....	72
Figura 4.16 – Evolução dos ângulos, com taxa limitada pela média e 10 fotos.....	73
Figura 4.17 – Convergência com taxa limitada pelo menor valor e 2 fotos.....	73
Figura 4.18 – Evolução dos ângulos com taxa limitada pelo menor valor e 2 fotos...	74
Figura 4.19 – Convergência com taxa limitada pelo menor valor e 4 fotos.....	74
Figura 4.20 – Evolução dos ângulos com taxa limitada pelo menor valor e 4 fotos...	75
Figura 4.21 – Convergência com taxa limitada pelo menor valor e 6 fotos.....	75
Figura 4.22 – Evolução dos ângulos com taxa limitada pelo menor valor e 6 fotos...	76
Figura 4.23 – Convergência com taxa limitada pelo menor valor e 8 fotos.....	76
Figura 4.24 – Evolução dos ângulos com taxa limitada pelo menor valor e 8 fotos.....	76
Figura 4.25 – Convergência com taxa limitada pelo menor valor e 10 fotos.....	78
Figura 4.26 – Evolução dos ângulos, com taxa limitada pelo menor valor e 10 fotos...	79
Figura 4.27 – Convergência com taxa limitada pelo maior valor e 2 fotos.....	79
Figura 4.28 – Evolução dos ângulos com taxa limitada pelo maior valor e 2 fotos.....	79
Figura 4.29 – Convergência com taxa limitada pelo maior valor e 4 fotos.....	80
Figura 4.30 – Evolução dos ângulos com taxa limitada pelo maior valor e 4 fotos.....	80
Figura 4.31 – Convergência com taxa limitada pelo maior valor e 6 fotos.....	81
Figura 4.32 – Evolução dos ângulos com taxa limitada pelo maior valor e 6 fotos.....	82
Figura 4.33 – Convergência com taxa limitada pelo maior valor e 8 fotos.....	82
Figura 4.34 – Evolução dos ângulos com taxa limitada pelo maior valor e 8 fotos.....	82
Figura 4.35 – Convergência com taxa limitada pelo maior valor e 10 fotos.....	83
Figura 4.36 – Evolução dos ângulos, com taxa limitada pelo maior valor e 10 fotos...	83
Figura 4.37 – Convergência com taxa limitada pela média desprezando o menor valor e 2 fotos.....	84
Figura 4.38 – Evolução dos ângulos com taxa limitada pela média desprezando o menor valor e 2 fotos.....	85
Figura 4.39 – Convergência com taxa limitada pela média desprezando o menor valor e 4 fotos.....	86

Figura 4.40 – Evolução dos ângulos com taxa limitada pela média desprezando o menor valor e 4 fotos.....	86
Figura 4.41 – Convergência com taxa limitada pela média desprezando o menor valor e 6 fotos.....	86
Figura 4.42 – Evolução dos ângulos, com taxa limitada pela média desprezando o menor valor e 6 fotos.....	87
Figura 4.43 – Convergência com taxa limitada pela média desprezando o menor valor e 8 fotos.....	87
Figura 4.44 – Evolução dos ângulos, com taxa limitada pela média desprezando o menor valor e 8 fotos.....	88
Figura 4.45 – Convergência com taxa limitada pela média desprezando o menor valor e 10 fotos.....	88
Figura 4.46 – Evolução dos ângulos, com taxa limitada pela média desprezando o menor valor e 10 fotos.....	89
Figura 4.47 – Convergência com taxa limitada pela média desprezando o maior valor e 2 foto.....	90
Figura 4.48 – Evolução dos ângulos com taxa limitada pela média desprezando o maior valor e 2 fotos.....	90
Figura 4.49 – Convergência com taxa limitada pela média desprezando o maior valor e 4 fotos.....	91
Figura 4.50 – Evolução dos ângulos com taxa limitada pela média desprezando o maior valor e 4 fotos.....	91
Figura 4.51 – Convergência com taxa limitada pela média desprezando o maior valor e 6 fotos.....	92
Figura 4.52 – Evolução dos ângulos, com taxa limitada pela média desprezando o maior valor e 6 fotos.....	92
Figura 4.53 – Convergência com taxa limitada pela média desprezando o maior valor e 8 fotos.....	93
Figura 4.54 – Evolução dos ângulos, com taxa limitada pela média desprezando o maior valor e 8 fotos.....	93
Figura 4.55 – Convergência com taxa limitada pela média desprezando o maior valor e 10 fotos.....	94
Figura 4.56 – Evolução dos ângulos, com taxa limitada pela média desprezando o maior valor e 10 fotos.....	94

Figura 4.57 – Convergência com taxa limitada pela média desprezando o menor e maior valor em 2 fotos.....	95
Figura 4.58 – Evolução dos ângulos com taxa limitada pela média desprezando menor e o maior valor e 2 fotos.....	96
Figura 4.59 – Convergência com taxa limitada pela média desprezando o menor e o maior valor em 4 fotos.....	96
Figura 4.60 – Evolução dos ângulos com taxa limitada pela média desprezando o menor e o maior valor em 4 fotos.....	97
Figura 4.61 – Convergência com taxa limitada pela média desprezando o menor e o maior valor em 6 fotos.....	97
Figura 4.62 – Evolução dos ângulos, com taxa limitada pela média desprezando o menor e o maior valor em 6 fotos.....	98
Figura 4.63 – Convergência com taxa limitada pela média desprezando o menor e o maior valor em 8 fotos.....	98
Figura 4.64 – Evolução dos ângulos, com taxa limitada pela média desprezando o menor e o maior valor em 8 fotos.....	99
Figura 4.65 – Convergência com taxa limitada pela média desprezando o menor e o maior valor em 10 fotos.....	99
Figura 4.66 – Evolução dos ângulos, com taxa limitada pela média desprezando o menor e o maior valor em 10 fotos.....	100
Figura 4.67 – Evolução da cifose e lordose com os ângulos decrescendo.....	101
Figura 4.68 – Evolução da cifose com os ângulos crescendo e lordose com os ângulos decrescendo.....	102
Figura 4.69 – Evolução da cifose com os ângulos decrescendo e lordose com os ângulos crescendo.....	102
Figura 4.70 – Evolução da cifose com os ângulos crescendo e lordose com os ângulos constantes.....	103
Figura 4.71 – Evolução da cifose com os ângulos decrescendo e lordose com os ângulos constantes.....	104
Figura 4.72 – Evolução da cifose com os ângulos constantes e lordose com os ângulos decrescendo.....	104
Figura 4.73 – Evolução da cifose com os ângulos constantes e lordose com os ângulos crescendo.....	105
Figura 4.74 – Evolução da cifose e lordose com os ângulos constantes.....	105

LISTA DE QUADRO

Quadro 2.1 – Vantagens e desvantagens dos métodos.....	43
Quadro 3.1 – Pseudo código do algoritmo genético R.....	47
Quadro 4.1 – Vantagens e desvantagens dos softwares.....	106

**UM SISTEMA EVOLUTIVO PARA AUXILIAR O DIAGNÓSTICO DA CIFOSE E
LORDOSE**

Antonio Carlos de Lima Filho

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Evandro de Barros Costa

Orientador

Prof^a. Dr^a. Roberta Vilhena Vieira Lopes

Orientadora

Prof. Dr. Fábio Paraguaçu Duarte da Costa

Examinador (interno)

Prof. Dr. Leandro Dias da Silva

Examinador (externo)

MACEIÓ

2021

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	17
1.1 Introdução.....	17
1.2 Motivação.....	19
1.3. Problema norteador da pesquisa.....	20
1.4. Objetivos.....	20
1.4.1 Objetivo Geral.....	20
1.4.2 Objetivos Específicos.....	20
1.5 Relevância da pesquisa.....	20
1.6. Organização da Dissertação.....	21
CAPÍTULO 2 – REFERENCIAL TEÓRICO DE SAÚDE.....	22
2.1 Noções de Fisiologia da Coluna Vertebral Humana.....	22
2.2 Cifose.....	24
2.3. Lordose.....	26
2.4 Exames realizados e solicitados pelo médico.....	30
2.4.1 Pantógrafo.....	30
2.4.2 Cifolordômetro.....	31
2.4.3 Spinalmouse.....	32
2.4.4 Cifômetro de Debrunner.....	33
2.4.5 Flexicurva.....	33
2.4.6 Arcômetro.....	34
2.4.7 Câmeras infravermelhas.....	35
2.5 Softwares usados para medição dos ângulos da coluna.....	35
2.5.1 Sapo.....	35
2.5.2 Corel Draw.....	42
CAPÍTULO 3 – ALGORÍTMO GENÉTICO.....	46
3.1 Introdução.....	46
3.2 O Algoritmo Genético de Holland.....	46
3.3 Variação da representação do Algoritmo Genético de Holland.....	51
3.4. Variação da seleção do Algoritmo Genético de Holland.....	52
3.5 Variação do cruzamento do Algoritmo Genético de Holland.....	53
3.6 Variação da mutação do Algoritmo Genético de Holland.....	55
3.7 Variação da substituição do Algoritmo Genético de Holland.....	56

3.8 Considerações Finais.....	58
CAPÍTULO 4 – O SISTEMA COLUMN.....	60
4.1 Introdução.....	60
4.2 O módulo de Interface.....	60
4.3 O módulo de plano da evolução.....	63
4.4 Resultados.....	67
4.5 Considerações Finais.....	106
CAPÍTULO 5 – CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS.....	107
5.1 Introdução.....	107
5.2 Conclusão.....	107
5.3 Trabalhos Futuros.....	108

CAPÍTULO 1 - CONSIDERAÇÕES INICIAIS

1.1 Introdução

Os avanços recentes obtidos em tecnologia, principalmente em computação, mecânica, eletrônica, e obviamente em medicina, nos últimos anos, vêm contribuindo para o desenvolvimento de novos procedimentos médicos, baseados em técnicas de inteligência artificial. A utilização dessas técnicas na construção de sistemas iterativos tem permitido corrigir e melhorar os procedimentos médicos já existentes, além de aumentar o conhecimento do médico sobre seu paciente, melhorando assim o atendimento clínico.

Aplicações de técnicas de inteligência artificial tem auxiliado profissionais de saúde na escolha do tratamento mais adequado para doenças, no desenvolvimento de um raciocínio abduativo para a geração de um diagnóstico clínico, na manutenção e recuperação de prontuários médicos integrados e acessível, em sistema de monitoramento de sinais vitais, etc. No passado o tratamento das doenças era generalizado para todos os pacientes, com o passar do tempo percebeu-se que dependendo do prontuário médico de cada paciente um determinado tratamento é mais adequado do que outro. Atualmente, a quantidade de proposta de tratamento para perfis diferentes de pacientes é tão grande, que para algumas especialidades médicas é quase impossível acompanhá-la. Com o intuito de manter o médico atualizado com todos os procedimentos médicos propostos a International Business Machines (IBM) desenvolveu o sistema Watson (High,2012), o qual recorre a técnicas de aprendizagem profunda (Goodfellow, 2016), que são arranjos de várias camadas de processamento não linear capaz de reconhecer imagens e falas sem a intervenção humana. O Watson recebe como entrada conteúdos da literatura médica e o prontuário do paciente, com essas informações ele gera uma lista dos tratamentos indicados para o paciente em questão.

O desenvolvimento de um raciocínio abduativo para gerar o diagnóstico de uma doença é uma das aplicações mais antigas da inteligência artificial para a área de saúde, sendo o sistema especialista MYCIN (Shortliffe, 1984) um de seus primeiros representantes. O MYCIN foi um sistema especialista composto por uma interface amigável, uma base de dado, uma base de regras e uma máquina de inferência capaz de derivar a partir dos dados fornecidos com suas regras o diagnóstico da bactéria

causadora de infecções graves, tais como bacteremia e meningite. A principal diferença do MYCIN para os sistemas de diagnósticos atuais é a classe dos dados analisados e a máquina de inferência adotada (Vogado, 2017).

A quantidade de dados disponíveis para o médico sobre seu paciente interfere diretamente no diagnóstico que será gerado. Isso porque a saúde física do paciente depende da interação de diferentes sistemas interdependente, não é raro a ocorrência de um problema causado por erros na aplicação de medicamentos (Leape et al., 1991). Por exemplo, o médico preceitua um remédio que contém uma substância que inibe outro medicamento tomado pelo paciente ou que provoca uma reação alérgica.

Segundo Hillestad et al. (2005) muitos desses problemas poderiam ser evitados através da utilização de um sistema de gerenciamento de prontuário médico. Pois, assim que o médico inserisse no sistema o remédio a ser administrado no paciente o sistema alertaria o médico dos riscos que este remédio pode provocar.

Por último, os sistemas de monitoramento de sinais vitais permitem que o paciente tenha um atendimento personalizado em sua casa (Fernandes, RCP, 2000). Tais sistemas são compostos por dois módulos no mínimo, um em hardware e outro em software, o módulo de hardware é composto por equipamentos de saúde plugados no paciente, ele limpa os sinais captado e os envia para o módulo de software. Já o módulo de software é responsável por registrar e analisar os sinais recebidos em tempo real. Caso durante a análise o software identifique algum quadro clínico de risco para a saúde do paciente, será enviado um alertar a equipe médica responsável por socorrer o paciente. Os sistemas de monitoramento têm apresentado bons resultados no tratamento de pacientes portadores de doenças cardiovasculares, pulmonares e diabetes Mellitus (Fernandes, RCP, 2000).

Tendo em vista que a saúde é um fator determinístico para a qualidade de vida da população e que os procedimentos médicos não apresentam a abrangência desejada para diminuir a desigualdade na saúde entre classes sociais diferentes, então é de se esperar que a comunidade científica demande esforços para tornar os procedimentos de médicos cada vez mais acessíveis, precisos, e abrangentes. A presente pesquisa pode se enquadrar em um desses esforços, ao propor o desenvolvimento do sistema COLUMN para que o paciente possa no conforto de seu lar com um celular na mão realizar o auto diagnóstico da cifose e lordose, além de registrar e acompanhar todas as alterações na coluna do paciente durante um período de 20 meses.

1.2 Motivação

No ano de 2019, o Instituto Nacional do Seguro Social (INSS) do Brasil pagou 3.344.850 aposentadoria por invalidez e 924.225 auxílios por doença, sendo 70% desses benefícios obtidos por diagnósticos de dor nas costas conforme estudo apresentado por (Fernandes RCP, 2000), sendo o termo “dor nas costas” um nome genérico utilizado pelos médicos para referir-se as várias doenças, relacionadas a postura, tais como: dor de cervical, dor torácica, dor ciática, transtorno dos discos intervertebrais, espondilose, radiculopatia, dor lombar. etc. (HAGEN, 2000).

Uma forma de evitar que a população sofra com dor na costa seria tornar obrigatória a avaliação anual da coluna de cada pessoa, o que é impossível devido ao número de médicos ortopedistas em atividade no mundo. Por exemplo, em 2019 o Brasil contava com 13.000 ortopedistas para atender a uma população de cerca de 209 milhões de pessoas (CNM) (IBGE – 2019). Como a resolução CREMEPE nº 01/2005, Art.1.o estipula o limite de catorze pacientes atendidos em ambulatório por um médico em uma jornada de trabalho de quatro horas, então o número de pacientes que poderiam ser atendidos em um ano no Brasil é 87.367.000, o que é muito inferior ao tamanho da população.

Pelo exposto acima pode-se concluir que este trabalho está alinhado três motivações: uma médica, uma econômica e outra computacional. A motivação médica é proporcionar um atendimento de melhor qualidade para a população acometidos pela cifose e lordose. Enquanto a motivação econômica é diminuir tanto os gastos com serviços médicos como o número de aposentadorias/benefícios pagos pelo INSS em decorrência do diagnóstico de cifose e lordose. Já a motivação computacional é aplicar um algoritmo genético a um problema de alta complexidade e analisar a sua eficácia e eficiência. A complexidade do sistema de acompanhamento do estado da coluna de uma pessoa está relacionada com o número de possibilidades existentes para o desenvolvimento da cifose e lordose ao longo da vida.

1.3. Justificativa

Algumas pesquisas sobre modelos computacionais inteligentes para simulação têm se caracterizado pela tendência em buscar inspiração na natureza. Dentre os modelos mais utilizados na literatura estão os Algoritmos Genéticos (AG) (Tanomaru

1995), pela sua flexibilidade, relativa simplicidade de implementação, e eficácia em realizar busca global em ambientes adversos. Os algoritmos genéticos implementam mecanismos adaptativos de otimização capazes de realizar uma busca por simultâneas regiões do espaço onde é provável que os pontos ótimos estejam, sendo capazes de simular processos que não apresentam uma descrição determinística de seu comportamento (Goldberg 1999).

A simulação do comportamento de evolução da cifose e lordose pode se enquadrar num processo não determinístico porque durante a sua evolução a patologia pode progredir, ficar constante ou regredir em função de diferentes variáveis externas como realização de atividade física, uso de colete, etc.

Neste trabalho optou-se em usar o modelo de algoritmo genético de Holland, por ser este algoritmo considerado um arcabouço conceitual para a maioria dos algoritmos genéticos que surgiram em decorrência dele. Isso pode ser verificado, por exemplo, através de uma pesquisa no Google Acadêmico, onde se pode constatar que só em 2020 o algoritmo de Holland teve aplicação em 18.500 trabalhos. Em particular, para o presente trabalho verificou-se a adequação deste tipo de arcabouço para modelar o comportamento aleatório das patologias cifose e lordose em diferentes pacientes. Tal adequação foi constatada devido as características do algoritmo genético permite a investigação de diferentes cenários de não monotonicidade dos ângulos da coluna.

1.4. Problema norteador da pesquisa

O auxílio do diagnóstico do quadro clínico de um paciente com dor nas costas inicia com a consulta, momento em que o paciente fará um relato seu problema; seguido de um exame físico, no qual o médico pede ao paciente para realizar alguns movimentos e avalia se há dor, rigidez, espasmos musculares e outras reações; por fim, o médico solicita algum exame de imagem para, finalmente, realizar o diagnóstico da patologia.

Como propor um modelo computacional para auxiliar no diagnóstico da cifose e lordose de modo a reduzir os casos críticos desses problemas posturais?

1.5. Objetivos

Nesta seção serão discutidos os objetivos do estudo. Inicialmente, será apresentado o propósito principal da pesquisa. Em seguida, serão abordados os objetivos específicos a serem tratados no seu desenvolvimento.

1.5.1 Objetivo Geral

Propor um modelo e sua realização computacional para auxiliar o diagnóstico da cifose e lordose, denominado COLUMN, para a prevenção e auxílio ao tratamento das mesmas.

1.5.3 Objetivos Específicos

- a) Analisar as ferramentas, métodos e metodologias de diagnóstico da cifose e da lordose;
- b) Definir um conjunto de atividades para compor o modelo proposto de modo a atender os profissionais de saúde no diagnóstico da cifose e da lordose;
- c) Desenvolver um protótipo baseado no modelo proposto;
- d) Realizar um experimento baseado na análise de imagens com o intuito de avaliar a aplicabilidade e os impactos dos diagnósticos realizados;

1.6 Relevância da pesquisa

O sistema de acompanhamento do diagnóstico da cifose e lordose caracteriza-se como um processo simples, indolor e mensal que pode auxiliar na prevenção desses problemas posturais em seu estágio inicial. Através dele o paciente passa a conhecer sua própria coluna, sendo capaz de relacionar qualquer alteração de sua coluna com as atividades praticadas por ele no último mês, daí a sua importância. Mas apesar da importância do sistema é fundamental que o paciente busque ajuda profissional sempre que uma alteração se apresentar, para a realização de um diagnóstico mais detalhado. É importante dizer que usamos dados manipulados sem precisão para o experimento.

1.7. Organização da Dissertação

A apresentação deste trabalho está dividida em 5 capítulos, incluindo esta introdução. No capítulo 2, serão apresentados os conceitos da área médica necessários para o entendimento do trabalho realizado. No capítulo 3, serão

apresentadas uma revisão sobre os principais modelos de algoritmo genético existentes. No capítulo 4, será apresentado a arquiteturas do sistema desenvolvido e os resultados experimentais obtidos. No capítulo 5, serão apresentadas as conclusões dessa dissertação e as perspectivas de trabalhos futuros a serem desenvolvidos.

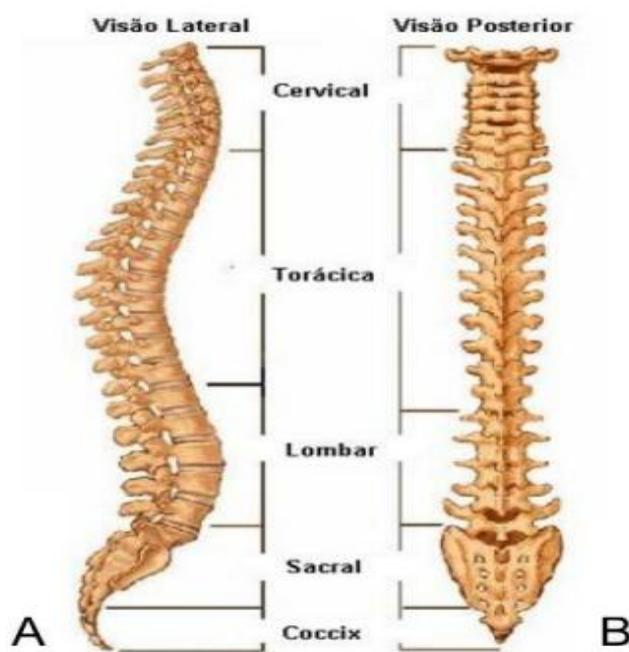
CAPÍTULO 2 – REFERENCIAL TEÓRICO DE SAÚDE

2.1 Noções de Fisiologia da Coluna Vertebral Humana

A coluna vertebral humana é o componente do esqueleto axial, constituída do conjunto músculo esquelético humano de suporte de cargas, sendo responsável por garantir, de forma estável, a transferência de carga ao longo de seu conjunto anatômico; permitir mobilidade e flexibilidade fisiológica suficientes; além de proteger a delicada medula espinhal de forças e movimentos prejudiciais (KURUTZ, 2010).

A coluna vertebral pode ser dividida em quatro partes, cada uma com um número específico de vértebras denominadas de cervical que vai da vértebra C1 à C7, torácica que vai da vértebra T1 à T12, lombar que vai da vértebra L1 a à L5 e sacral que vai da vértebra S1 à S5. No plano sagital lateral, apresenta quatro concavidades naturais convexas anteriormente (lordose), presente no segmento cervical, lombar e convexa posteriormente (cifoses), localizada na região torácica e sacral (Figura 2.1A). No plano frontal posterior, a coluna aparece reta e simétrica (Figura 2.1B).

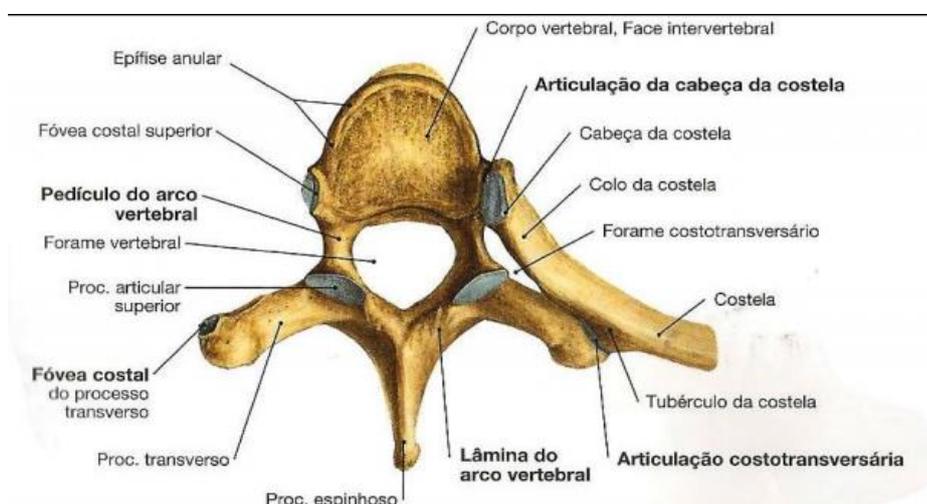
Figura 2.1 - Anatomia da coluna vertebral, (A) visão lateral e (B) visão posterior



Fonte: Sobotta (2012)

As vértebras da coluna possuem duas partes: o corpo na porção anterior e o arco posterior (Figura 2.2). O corpo de uma vértebra é a parte mais maciça dela e possui a forma cilíndrica, sendo que o corpo de uma vértebra está conectado ao corpo da vértebra seguinte na coluna através do disco intervertebral. Enquanto o arco posterior, tem o formato de uma ferradura, articula-se com os segmentos suprajacentes e infrajacentes pelo processo articular de cada lado da vértebra, a sucessão de todos os arcos posteriores das vértebras da coluna forma o canal raquidiano que abriga a medula espinhal (CALIAS; GERMAIN, 1992).

Figura 2.2 - Visão superior de uma vértebra torácica



Fonte: Sobotta (2012)

Os movimentos da coluna são o resultado da combinação do movimento de várias unidades funcionais da coluna, que consistem de duas vértebras interagindo com os tecidos moles adjacentes. As unidades funcionais da coluna possuem três categorias de movimento de rotação e translação, logo o número de movimentos realizados por uma dessas unidades é quinze. Considerando que nossa coluna possui trinta e três vértebras, das quais somente as vértebras da parte sacral e cóccix não são móveis.

Vista de lado a coluna apresenta curvaturas fisiológicas na região do pescoço (lordose cervical), do tórax (cifose torácica), da cintura (lordose lombar) e da bacia (cifose sacrococcígea), que lhe conferem o aspecto de um S. Essas curvaturas são consideradas normais, porque resultam da adaptação natural do corpo humano a posições adotadas nas diferentes fases do desenvolvimento motor, incluindo o

período embrionário e o nascimento. Em outras palavras: elas surgem espontaneamente nas pessoas saudáveis e passam a funcionar como um sistema de molas, fundamental não só para manter o equilíbrio, mas também para aliviar o impacto e a sobrecarga que a ação da gravidade exerce sobre o corpo humano nas posições em pé e sentada.

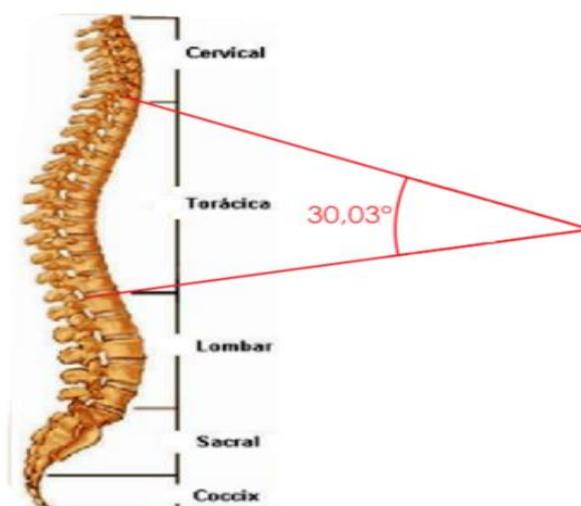
Problemas posturais de coluna, como a lordose e a cifose, surgem quando as curvas naturais da coluna vertebral são reduzidas ou aumentadas, compromete o funcionamento da coluna (PANJABI, 1980). No restante desta seção será apresentada a definição, as causas, os sintomas, o diagnóstico, softwares para identificação e tratamentos para a lordose e cifose.

2.2 Cifose

A cifose é um problema de coluna gerado pela alteração do tamanho da curva torácica da coluna, sendo considerado normal a curvatura das costas com um ângulo ente 20 a 40 graus de amplitude, que lhe é dada pelo formato ligeiramente em cunha do corpo vertebral e dos discos, que são mais finos e ligeiramente achatados na sua posição mais anterior (MOREIRA, 2017).

No entanto, há situações em que esta curvatura fisiológica é exagerada, e devido a esse exagero ela é considerada patológica. Essa patologia recebe o nome de hipercifose, com a diminuição do ângulo da curvatura torácica gerando uma curvatura diferenciada do dorso chamada popularmente de corcunda (Figura 2.3).

Figura 2.3 - Medição da cifose torácica pelo método de Cobb



Fonte: Sobotta (2012).

As causas mais comuns da hipercifose são as danificações vertebrais seguidas de uma fratura, de um episódio infeccioso ou de má formação congênita (RIBEIRO, 2003). Problemas mecânicos aparecem causados pela diferente configuração das vértebras no plano sagital. O tratamento muitas vezes cirurgicamente torna-se essencial para evitar problemas mais graves (SAR, 2002).

O desvio na postura não se torna um problema meramente estético, mas podem causar desde um quadro agudo de dor intensa na região torácica posterior ou lombalgia, por vezes com irradiação para a região anterior; redução de altura; ocorrências de infecções respiratórias e a obstipação crônica; restrição de mobilidade; etc. (KENDALL, 1995).

O diagnóstico inicia com uma conversa entre médico e paciente, no qual o médico realiza um conjunto de perguntas, dentre as quais estão questionamentos sobre a presença de dor, insuficiência cardiopulmonar e sintomas neurológicos, sobre o momento em que a deformidade vertebral foi observada, a ocorrência da deformidade em algum familiar, idade cronológica, fisiológica e óssea, dentre outras que possibilitarão parte da construção do diagnóstico. Em seguida o médico fará um exame clínico no paciente, em que serão observadas a ocorrências destas situações: desvio da linha espondílea; descompensação do tronco com relação ao quadril; desnivelamento dos ombros e das escápulas; assimetria do triângulo do talhe; comprimento dos membros superiores e presença de dobras; altura das cristas ilíacas; comprimento dos membros inferiores; presença de manchas, contraturas e tumorações; prova de flexão lombar, em que se verifica a formação de giba costal, revelando a formação de cifose patológica (NATOUR, 2004).

Após essa avaliação geral, o médico solicitará um conjunto de exames laboratoriais que colaborarão para a consolidação do diagnóstico do paciente. Os exames mais comuns solicitados são radiografia em perfil com o paciente em decúbito lateral; radiografia em decúbito dorsal em hiperextensão para o estudo da flexibilidade; radiografia das mãos e punhos para a avaliação da idade óssea e econometria.

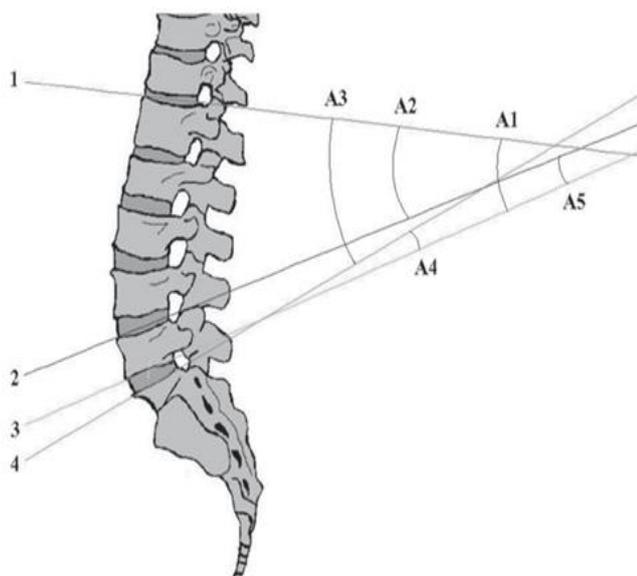
O tratamento da hipercifose está vinculado ao ângulo da curvatura da cifose e a idade do paciente. Quando ela ocorre em pessoas antes de completar a fase de crescimento, é recomendado o uso do colete Milwaukee e fisioterapia. Após essa fase, se a curva estiver mais acentuada, mesmo com o uso do colete e a fisioterapia, havendo, ainda, o agravamento dos sintomas como dores e problemas de saúde, o tratamento cirúrgico pode ser adotado como a única solução (NATOUR, 2004).

2.3. Lordose

A coluna lombar inicia-se na última vértebra torácica (T12) e termina no ângulo lombo sacral, sendo dividida em três compartimentos denominados: anterior, médio e posterior (HAMILTON, 1982). O anterior compreende os corpos vertebrais e os discos intervertebrais, cuja função é suportar peso e absorver choques; o compartimento médio é formado pelo canal raquidiano e pelos pedículos do arco vertebral e; o posterior, tem a função de proteger os elementos neurais e direcionar os movimentos executados por essa região.

A parte anterior da coluna lombar é a responsável pela estabilidade de uma pessoa, caso ela passe por um incidente que perturbe seu centro gravitacional. Isso acontece porque a coluna lombar pode variar sua inclinação em relação à pélvis, que funciona como uma espécie de amortecedor para a coluna suportar a carga da mobilidade do corpo. Quando uma determinada atividade exige o aumento do ângulo lombo sacro repetidamente, isso pode gerar um aumento da curvatura lombar, obtém-se a hiperlordose (GELB et. al. 1995.).

Figura 2.4 – Representação em perfil dos ângulos da coluna para identificação da lordose



Fonte: Abreu (2007).

A figura acima mostra os ângulos conhecidos para a identificação de diferentes tipos de lordose lombar, sendo: A1 o ângulo da lordose lombar que ocorre entre a 1ª e a 3ª vértebra; A2 o ângulo da lordose lombar que ocorre entre a 1ª e a 2ª vértebra;

A3 o ângulo da lordose total que ocorre entre a 1ª e a 4ª vértebra; A4 o ângulo da articulação lombo sacro que ocorre entre a 3ª e a 4ª vértebra; e A5 o ângulo da cunha que ocorre entre a 2ª e a 3ª vértebra.

Os problemas de coluna do tipo lordose são considerados como resultado de alterações na força, atividade ou comprimento dos músculos abdominais, espasmo dos músculos extensores da coluna ou contratura em flexão do quadril (KENDALL, 1995). Mas existe uma pequena possibilidade de eles serem obtidos através de casos de fusão vertebral posterior congênita, após procedimento de shunt lombo peritoneal realizado durante o tratamento de hidrocefalia e em acondroplasia com estenose vertebral (KENDALL, 1995).

Foi verificado que alterações na lordose lombar influenciam vários aspectos da mecânica da coluna, podendo causar danos aos tecidos adjacentes. A flexão além do fisiológico da coluna lombar, comparada com a postura normal, resulta em redução de força dos músculos extensores, aumenta o risco de lesões no ligamento e herniação posterior do disco e diminuição da tolerância de esforços físicos, como o carregamento de peso (MCGILL, HUGHSON & PARKS, 2000).

O diagnóstico para tal comorbidade também se inicia com uma conversa entre médico e paciente, a partir de um conjunto de perguntas a serem respondidas pelo paciente, com indagações sobre a presença da dor, insuficiência cardiopulmonar e sintomas neurológicos; questiona-se, ainda, sobre o momento em que a deformidade vertebral foi observada, a ocorrência da deformidade em algum familiar, a idade cronológica, fisiológica e óssea, dentre outras arguições (NATOUR, 2004).

Em seguida o médico solicita e/ou realiza um exame clínico, levando-se em conta que a pressão intradiscal varia em função dos movimentos e das posições do corpo. Desta forma, deve-se sempre observar o paciente caminhando, tipo de marcha e se existe posição antálgica, se existe assimetria entre os ombros, pregas subcostais, cristas ilíacas, pregas glúteas, alteração nas curvaturas da coluna lombar como retificação da lordose, acentuação da cifose torácica ou escoliose, além da presença de lesões de escaras, traumas ou cirurgia anterior.

O médico deve tocar no paciente a procura da presença de hipertonia muscular e pontos dolorosos. Depois solicitar ao paciente que realize alguns movimentos, tais como: flexão frontal para analisar a presença de dor, ou se a dor é agravada por este movimento, ou se a dor irá irradiar para os membros inferiores, admite-se que existe lesão discal (protrusão ou hérnias discais); flexão lateral direita e esquerda a busca

de dor e limitação da amplitude do movimento; extensão para procurar o surgimento de dores nos casos de artrose zigoapofisárias e estenose de canal artrósico; e rotação direita e esquerda observando o surgimento de dor e limitação da amplitude dos movimentos.

Manobra de Valsalva: a exacerbação da dor ou sua irradiação até o pé pode significar que exista compressão radicular. Manobra de Lasègue ou teste da perna estendida: o exame deve ser feito com o paciente em decúbito supino, a mão esquerda do examinador deve imobilizar o ilíaco e a mão direita elevar-lhe o membro inferior segurando-o na altura do tornozelo. O teste é considerado positivo se houver irradiação ou exacerbação da dor no dermatomo de L4-L5 ou L5-S1 em um ângulo de 35° a 70° (WIESEL SW, 1996). Em hérnias extrusas ou volumosas pode ser positiva abaixo de 35°, ângulos acima de 70° resulta em teste negativo, isto é, não existe compressão radicular (WIESEL SW, 1996).

Sinal do arco da corda (manobra de Bragard): deve-se proceder como na manobra de Lasègue: ao iniciar a dor, dobra-se o joelho (flexão); se a dor diminuir ou desaparecer significa que o teste é positivo (WINDSOR; LOX, 1998). Sinal das pontas de “De Sèze”: andar no calcanhar (dorsiflexão do tornozelo), não consegue: compressão da raiz de L4 ou L5. Andar na ponta dos pés (flexão plantar do tornozelo), não consegue: compressão da raiz de S1 (CIPRIANO, 1997).

Pesquisa de reflexos: Ausência do reflexo patelar indica comprometimento da raiz de L3 e/ou L4. Ausência do reflexo aquiliano indica comprometimento da raiz de S1 (CIPRIANO, 1997).

Pesquisa da força de flexão e extensão dos pododáctilos: Hálux: ausência ou força diminuída indica deficiência motora por compressão radicular de L5. O 2º e 3º pododáctilos: ausência ou força diminuída indica deficiência motora por compressão radicular de S1 (BROETZ, EICHNER, GASSER, 2007).

Sinais não orgânicos de lombalgia psicossomática: sensibilidade dolorosa exacerbada em locais de distribuição não anatômica e superficial. Lombalgia que aparece após compressão crânio caudal ou à rotação da pelve e ombros sem movimentar a coluna. Sinal de Lasègue exagerado quando pesquisado sentado ou deitado. Alterações regionais de sensibilidade (hiperestesia em bota) em pacientes não diabéticos e fraqueza generalizada (BROETZ, EICHNER, GASSER, 2007).

Durante o procedimento de avaliação descrito acima o médico deve permanecer atento a alguns sinais, que podem indicar se a dor lombar pode causar algum problema que não está ligada a coluna vertebral. Isso acontece nos casos em que a dor é aguda e subaguda indicando causas tumorais, fraturas osteoporóticas e outras. Sendo neste caso necessário a solicitação de exames para ratificar ou não as possíveis causas das dores lombares, entre os exames que podem ser solicitados estão: a radiologia convencional, a tomografia axial computadorizada, a ressonância nuclear magnética, a miografia, a discografia, a cintilografia, a eletroneuromiografia e a densitometria óssea.

O tratamento da lordose dependerá do ângulo observado na comorbidade, da idade do paciente e dos sintomas, podendo acontecer uma abordagem terapêutica correta da lombalgia aguda com a combinação de tratamento conservador, uma reeducação da postura, orientação ergonômica e fisioterápica pode estagnar sua evolução (DUTTON, 2006).

O tratamento conservador é o mais recomendado por ser de simples execução. Nele o médico solicita ao paciente que repouse na posição de decúbito supino, joelhos fletidos e pés apoiados sobre com flexão das pernas num ângulo de 90° com as coxas e destas com a bacia. Durante 3 há 6 dias, este exercício irá retificar a coluna lombar e diminuir a dor. Porém, ele não pode ser executado por longos períodos já que a inatividade tem ação deletéria sobre o aparelho locomotor (GIBSON et al., 1999).

O médico pode prescrever analgésicos para o paciente tomar e assim se livrar dos incômodos da lordose. A escolha do remédio depende da natureza da dor: para os casos das dores leves a moderada as substâncias recomendadas são paracetamol ou dipirona, e para os casos de dores agudas as substâncias recomendadas são fosfato de codeína, cloridrato de tramadol, oxicodona e sulfato de morfina.

Independentemente do tipo de lordose do paciente o tratamento fisiológico deve ser iniciado o mais cedo possível. Uma vez que este tipo de tratamento aumenta o nível de endorfina no sangue periférico e diminui o pH no interior do disco intervertebral por aumentar a concentração de O₂, diminuindo assim, o estímulo doloroso. Quando a dor é aguda este tratamento deve ser realizado com a devida cautela, sendo, no entanto, indispensável para se obter os resultados desejados. O tratamento fisiológico deve contemplar: alongamento, relaxamento, isométricos de quadríceps e tríceps sural, exercícios aeróbicos (sendo os mais indicados: caminhada, natação e ciclismo), exercícios de flexão e exercícios de extensão (Oliveira, 2005).

O médico ainda pode recorrer a tratamentos de acupuntura, órtese e terapia comportamental para tentar oferecer ao paciente uma vida saudável. Caso nenhum dos recursos já descritos tenha êxito a cirurgia apresenta-se como último recurso, dependendo da avaliação que o médico faça do quadro clínico do paciente (Oliveira, 2005).

2.4 Exames realizados e solicitados pelo médico

O diagnóstico da cifose e da lordose como descrito nas seções 2.2 e 2.3, iniciam com uma avaliação no consultório e terminam com a ratificação dos resultados obtidos pelos exames solicitados. Havendo duas categorias de exames, aqueles que requerem uma abordagem que não pode ser repetida muitas vezes sob pena de gerar danos à saúde ao paciente, que são baseados em medidas de ângulos que podem ser realizados no consultório e não geram prejuízo para a saúde do paciente.

Como o sistema de diagnóstico proposto no presente trabalho se destina a ser realizado por uma pessoa que pode ou não ter conhecimento da área de saúde, já que será uma espécie de autoexame, então só será possível trabalhar com o diagnóstico baseado na medição dos ângulos da coluna vertebral que são baseadas em medidas, as quais podem ser levadas até o médico e ratificadas pelos instrumentos que ele dispõe. No restante desta seção, faremos uma descrição dos instrumentos de medição dos ângulos da cifose e lordose que podem ser realizados em consultório.

2.4.1 Pantógrafo

Proposto em 1603 pelo astrônomo alemão Christoph Scheiner, é um aparelho utilizado para fazer ampliações e reduções de figuras ou formas geométricas. É constituído por quatro barras articuladas e fixadas entre si, sendo duas maiores e duas menores (Figura 2.5). Para mensurar os ângulos da coluna vertebral usando o pantógrafo, uma superfície de desenho é fixa sob o aparelho para representar, em desenho, o contorno da linha do tronco.

Durante o exame o paciente deve ficar inerte, em pé, e os processos espinhosos que servirão de parâmetros para a mensuração do ângulo da curvatura são definidos. Na extremidade, que passará na coluna do paciente, há uma pequena roda. Conforme a roda desliza na curvatura essa é desenhada na superfície de

desenho, tendo assim, o ângulo da curvatura através de análise geométrica (WILLNER, 1981).

Figura 2.5 – Pantógrafo



Fonte: Todo coleccion (2012).

2.4.2 Cifolordômetro

O cifolordômetro foi adaptado por Baraúna em 1999 e sua configuração conta com uma haste vertical geralmente de alumínio de 39 x 58 mm e 1,97 cm de altura além de contar com 39 hastes horizontais com secção transversa de 0,635 cm e 40 cm de comprimento, que são móveis, indeformáveis e equidistantes por quatro centímetros uma da outra.

O aparato está preso sobre uma plataforma de apoio ortostático com área de 73 x 56 cm em um piso de borracha, antiderrapante. O desenho que representa a forma da coluna vertebral no plano sagital é representado em uma folha de papel, fixada atrás do cifolordômetro (BARAÚNA, 2005).

Figura 2.6 – Cifolordômetro



Fonte: Semantic Scholar (2020).

2.4.3 Spinalmouse

O aparelho é formado por uma carcaça curva e duas rodas que mapeiam as mudanças de inclinação e suas extensões através de um prumo interno. O equipamento se comunica via wireless com a base, que não deve ficar a mais de 2 metros do spinalmouse (MANNION et. al. 2004). Realizaram um estudo e por fim conseguiram um Coeficiente de Correlação Intraclasse (ICC) de 0,83 entre os dois examinadores que participaram, obtendo ICC menores variando os dias de coletas.

Figura 2.7– Spinalmouse



Fonte: Getbackscan (2019).

2.4.4 Cifômetro de Debrunner

O Cifômetro de DeBrunner é um aparelho simples, porém de manejo um tanto quanto difícil, por ser pesado, além do fato de um bom modelo desse equipamento ser caro. Para mensurar o ângulo, colocam-se as bases nos processos espinhosos que deseja analisar (Lundon, Li & Biberstein, 1998). Compararam o método de Cobb por radiografia com o cifômetro e acharam uma boa correlação entre eles (Korovessis et. al. 2001), encontraram um ICC de 0.84 entre os dois métodos.

Figura 2.8– Cifômetro de Debrunner



Fonte: Terapia manual (2020).

2.4.5 Flexicurva

A Flexicurva é uma régua flexível de chumbo (Figura 2.9), de baixo custo, que por ser flexível, é moldável. Com o paciente em pé, posiciona-se a régua o mais próximo da linha média da coluna entre os processos espinhosos de C7 e S1. Moldando a régua conforme a geometria da coluna vertebral do paciente, a régua é sobreposta em um pedaço de papel onde seu contorno é traçado. Une-se o começo e o final da curva por uma reta. Através de análise geométrica acha-se o ângulo de curvatura (TEIXEIRA, 2006).

Figura 2.9 - Flexicurva

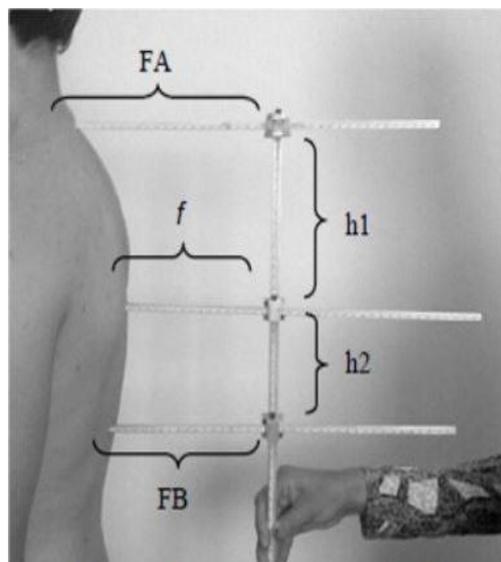


Fonte: Terapia manual (2020).

2.4.6 Arcômetro

Assim como outros métodos, o arcômetro (Figura 2.10) mapeia a coluna vertebral humana, formado por uma régua com três hastes perpendiculares, sendo a primeira fixa, e as outras duas, móveis. Posiciona-se a primeira haste no processo espinhoso que se refere ao começo da curvatura, a terceira haste no final da curvatura e a haste do meio no processo espinhal mais aberto da curvatura. As medidas obtidas em mm podem ser convertidas para ângulo através de uma tabela de referência existente (D'OSUALDO, SCHERANO & IANNIS, 1997).

Figura 2.10 - Arcômetro



Fonte: Terapia manual (2020).

2.4.7 Câmeras infravermelhas

As câmeras infravermelhas (Figura 2.13) usam um método de emissão de um feixe de luz que é refletida pelos marcadores colocados no corpo do paciente, tal método utiliza hardwares específicos que realizam operações de processamento de imagens (CORTE, 2016). Esse sistema tem uma restrição que ele só consegue mensurar onde localizam-se marcadores

Figura 2.11 – Câmera Infravermelha



Fonte: Apamed (2019).

2.5 Softwares usados para medição dos ângulos da coluna

Quando o instrumento usado pelo médico gera uma imagem da coluna do paciente, é possível calcular os ângulos da cifose e lordose com o auxílio de software computacionais, para garantir uma medida mais apurada, uma vez que o erro na medida do grau do ângulo pode acarretar um diagnóstico incorreto. Dessa forma os profissionais da área de saúde podem trabalhar com medidas mais precisas dos ângulos presentes da coluna do paciente para ratificar ou refutar o diagnóstico de uma dessas patologias.

2.5.1 Sapo

O SAPO é um software livre e de código aberto para procedimentos científicos de análise postural. Além disso, o SAPO tem como meta a criação de uma base de dados integrada, de âmbito nacional, de análises posturais da população brasileira. Isso o caracteriza como um projeto que deve operar em rede, e por simplicidade,

utilizando a Web como base (DUARTE, 2005). Entretanto, é um aplicativo puramente Web roda em navegadores, o que impõe limites para o acesso aos recursos locais.

O programa SAPO usa um protocolo que é uma sugestão de pontos de marcação e medidas para avaliação postural da cifose e lordose. Este protocolo foi sugerido pela equipe inicial do projeto de desenvolvimento do programa. A escolha desses pontos foi baseada na relevância clínica, base científica, viabilidade metodológica e aplicabilidade. Este protocolo é utilizado como padrão para avaliação postural que gera os valores para o banco de dados de postura (DUARTE, 2005).

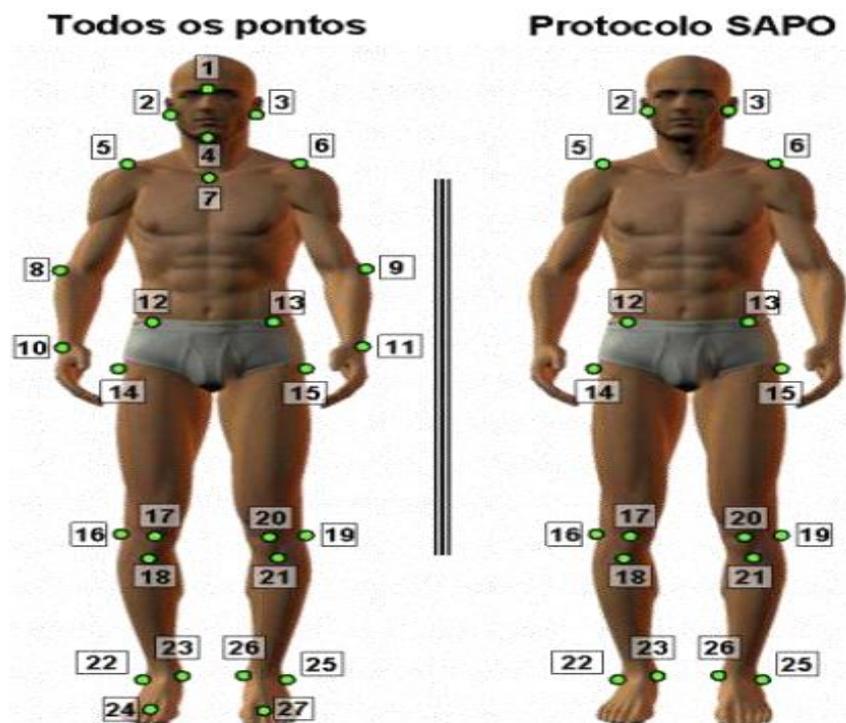
O SAPO permite que o usuário defina seu próprio protocolo de marcação, após a definição de seu próprio protocolo, e a marcação dos pontos, a avaliação do usuário e realizada por quatro vistas fotográficas diferentes: frontal anterior, frontal posterior, lateral direita e lateral esquerda.

A seguir, todos os pontos possíveis que podem ser selecionados na vista frontal anterior (Figura 2.14) para compor um protocolo qualquer, e os pontos do protocolo SAPO. Todos os pontos estão listados logo abaixo.

1. Glabela
2. Trago direito
3. Trago esquerdo
4. Mento
5. Acrômio direito
6. Acrômio esquerdo
7. Manúbrio do esterno
8. Epicôndilo lateral direito
9. Epicôndilo lateral esquerdo
10. Ponto médio entre a cabeça do rádio e a cabeça da ulna direita
11. Ponto médio entre a cabeça do rádio e a cabeça da ulna esquerda
12. Espinha ilíaca ântero-superior direita
13. Espinha ilíaca ântero-superior esquerda
14. Trocânter maior do fêmur direito
15. Trocânter maior do fêmur esquerdo
16. Linha articular do joelho direito
17. Ponto medial da patela direita
18. Tuberosidade da tíbia direita
19. Linha articular do joelho esquerdo

20. Ponto medial da patela esquerda
21. Tuberosidade da tíbia esquerda
22. Maléolo lateral direito
23. Maléolo medial direito
24. Ponto entre a cabeça do 2º e 3º metatarso direito
25. Maléolo lateral esquerdo
26. Maléolo medial esquerdo
27. Ponto entre a cabeça do 2º e 3º metatarso esquerdo

Figura 2.12 – Frontal Anterior (SAPO)



Fonte: Ufabc (2020).

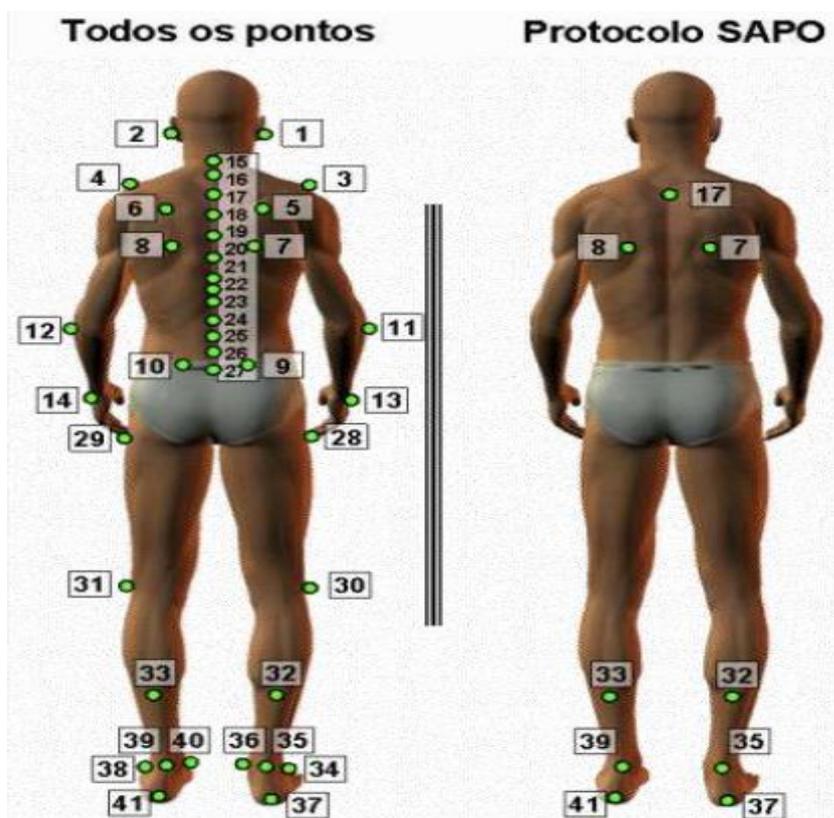
A seguir, todos os pontos possíveis que podem ser selecionados na vista frontal posterior (Figura 2.15) para compor um protocolo qualquer e os pontos do protocolo SAPO. Todos os pontos estão listados logo abaixo.

1. Trago direito
2. Trago esquerdo
3. Acrômio direito
4. Acrômio esquerdo
5. Intersecção entre a margem medial e a espinha da escápula direita
6. Intersecção entre a margem medial e a espinha da escápula esquerda

7. Ângulo inferior da escápula direito
8. Ângulo inferior da escápula esquerdo
9. Espinha ilíaca pósterio-superior direita
10. Espinha ilíaca pósterio-superior esquerda
11. Epicôndilo lateral direito
12. Epicôndilo lateral esquerdo
13. Ponto médio entre a cabeça do rádio e a cabeça da ulna direita
14. Ponto médio entre a cabeça do rádio e a cabeça da ulna esquerda
15. Processo espinhoso C7
16. Processo espinhoso T1
17. Processo espinhoso T3
18. Processo espinhoso T5
19. Processo espinhoso T7
20. Processo espinhoso T9
21. Processo espinhoso T11
22. Processo espinhoso T12
23. Processo espinhoso L1
24. Processo espinhoso L3
25. Processo espinhoso L4
26. Processo espinhoso L5
27. Processo espinhoso S1
28. Trocânter maior do fêmur direito
29. Trocânter maior do fêmur esquerdo
30. Linha articular do joelho direito
31. Linha articular do joelho esquerdo
32. Ponto sobre a linha média da perna direita
33. Ponto sobre a linha média da perna esquerda
34. Maléolo lateral direito
35. Ponto sobre o tendão do calcâneo direito na altura média dos dois maléolos
36. Maléolo medial direito
37. Calcâneo direito
38. Maléolo lateral esquerdo
39. Ponto sobre o tendão do calcâneo esquerdo na altura média dos dois maléolos
40. Maléolo medial esquerdo

41. Calcâneo esquerdo

Figura 13 – Vista Frontal Posterior (SAPO)



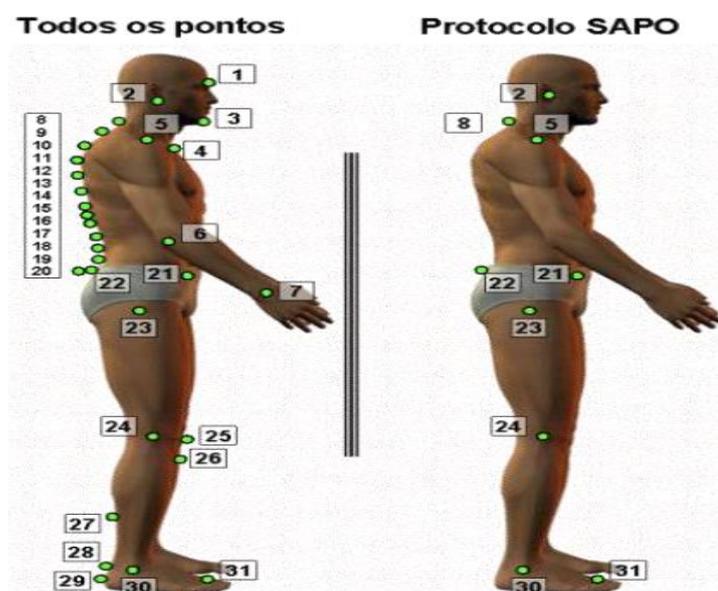
Fonte: Ufabc (2020).

A seguir, todos os pontos possíveis que podem ser selecionados na vista lateral direita (Figura 2.16), para compor um protocolo qualquer e os pontos do protocolo SAPO. Todos os pontos estão listados também logo abaixo.

1. Glabela
2. Trago direito
3. Mento
4. Manúbrio do esterno
5. Acrômio direito
6. Epicôndilo lateral direito
7. Ponto médio entre a cabeça do rádio e a cabeça da ulna direita
8. Processo espinhoso C7
9. Processo espinhoso T1
10. Processo espinhoso T3
11. Processo espinhoso T5

12. Processo espinhoso T7
13. Processo espinhoso T9
14. Processo espinhoso T11/40
15. Processo espinhoso T12
16. Processo espinhoso L1
17. Processo espinhoso L3
18. Processo espinhoso L4
19. Processo espinhoso L5
20. Processo espinhoso S1
21. Espinha ilíaca ântero-superior direita
22. Espinha ilíaca póstero-superior direita
23. Trocânter maior do fêmur direito
24. Linha articular do joelho direito
25. Ponto medial da patela direita
26. Tuberosidade da tíbia
27. Ponto sobre a linha média da perna direita
28. Ponto sobre o tendão do calcâneo direito na altura média dos dois maléolos
29. Calcâneo direito
30. Maléolo lateral direito
31. Ponto entre a cabeça do 2º e 3º metatarso direito

Figura 2.14 – Vista Lateral Direita (SAPO)

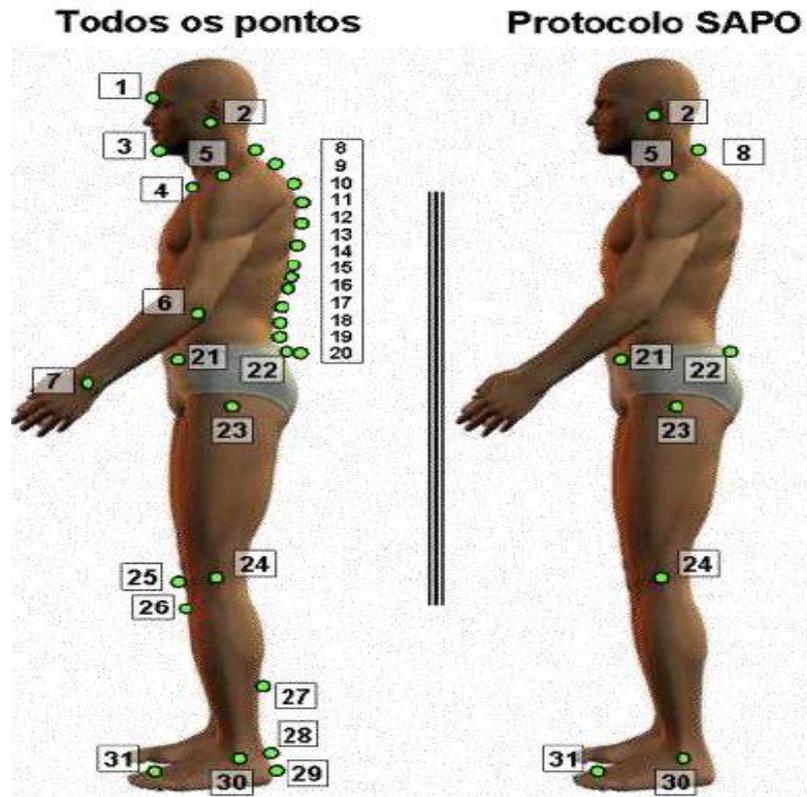


Fonte: Ufabc (2020).

A seguir, todos os pontos possíveis que podem ser selecionados na vista lateral esquerda (Figura 2.17), para compor um protocolo qualquer e os pontos do protocolo SAPO. Todos os pontos estão listados também logo abaixo.

1. Glabela
2. Trago esquerdo
3. Mento
4. Manúbrio do esterno
5. Acrômio esquerdo
6. Epicôndilo lateral esquerdo
7. Ponto médio entre a cabeça do rádio e a cabeça da ulna esquerda
8. Processo espinhoso C7
9. Processo espinhoso T1
10. Processo espinhoso T3
11. Processo espinhoso T5
12. Processo espinhoso T7
13. Processo espinhoso T9
14. Processo espinhoso T11
15. Processo espinhoso T12
16. Processo espinhoso L1
17. Processo espinhoso L3
18. Processo espinhoso L4
19. Processo espinhoso L5
20. Processo espinhoso S1
21. Espinha ilíaca ântero-superior esquerda
22. Espinha ilíaca póstero-superior esquerda
23. Trocânter maior do fêmur esquerdo
24. Linha articular do joelho esquerdo
25. Ponto medial da patela esquerda
26. Tuberosidade da tíbia
27. Ponto sobre a linha média da perna esquerda
28. Ponto sobre o tendão do calcâneo esquerdo na altura média dos dois maléolos
29. Calcâneo esquerdo
30. Maléolo lateral esquerdo
31. Ponto entre a cabeça do 2º e 3º metatarso esquerdo

Figura 2.15 – Vista Lateral Esquerda (SAPO)

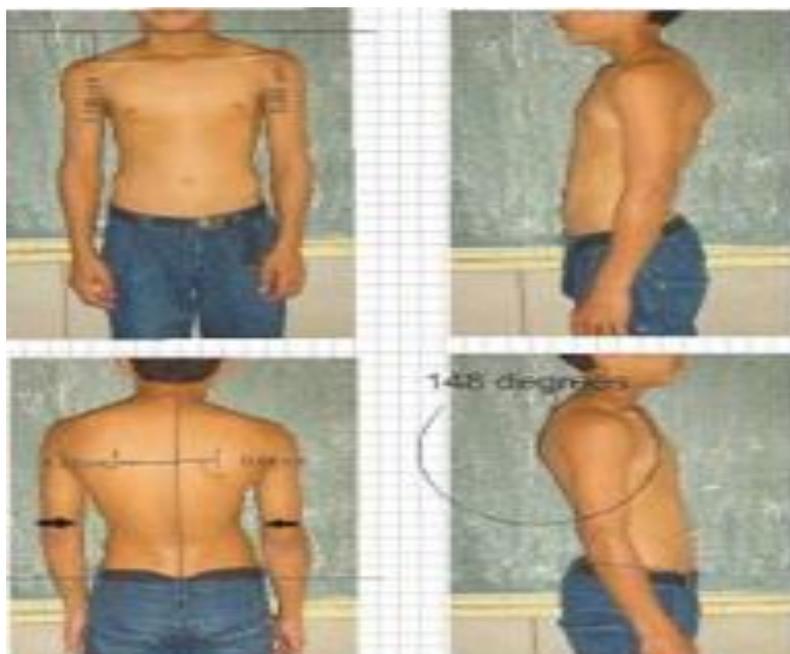


Fonte: Ufabc (2020).

2.5.2 Corel Draw

É um programa de desenho vetorial bidimensional para design gráfico desenvolvido pela Corel Corporation, Canadá. É um programa de ilustração vetorial e layout de página que possibilita a criação e a manipulação de vários produtos, sendo assim a fisioterapia usa para avaliações bidimensionais e caracterizar os ângulos da coluna humana (SACCO, ICN et. al, 2007), a (Figura 18) mostra o programa Corel Draw usado nas avaliações das patologias da coluna vertebral humana.

Figura 2.16 – Avaliação do programa Corel Draw



Fonte: Luzimar Teixeira (2019).

Os métodos apresentados acima, oferecem dados positivos e negativos a respeito de cada um deles, que seguem sistematizados na tabela abaixo (Quadro 01):

Quadro 2.1 – Vantagens e desvantagens dos métodos.

Métodos	Vantagens	Desvantagens
Radiografia	Confiável	Alto Custo
	Precisão da imagem diagnóstica	Prejudicial à saúde
		Profissional treinado
Pantógrafo	Baixo custo	Difícil Manuseio
		Baixa precisão
Cifolordômetro	Baixo custo	Baixa precisão
		Difícil Manuseio
Spinalmouse	Fornece o delineamento das curvas fisiológicas da coluna vertebral	Não existem muitos estudos com a aplicação deste método
	Fornece os valores angulares no ato do teste.	

Cifômetro de Debrunner	boa correlação com o a radiografia	Manejo um tanto quanto difícil
Flexicurva	Baixo custo, flexível, e moldável	Pouca precisão
Arcômetro	Baixo custo, Resultados imediatos do teste	Difícil manuseio, pesado
Escoliômetro	Técnica amplamente usada para determinação angular.	A técnica apresentou dados controversos na literatura
	Fácil aplicação	Possibilidades de erro do avaliador devido à instabilidade de posicionamento do equipamento no corpo do paciente.
Câmeras infravermelhas	Técnica não invasiva	consegue mensurar onde localiza-se marcadores.
SAPO	Técnica não invasiva	consegue mensurar onde localiza-se marcadores.
		Difícil manuseio
COREL DRAW	Técnica não invasiva	Difícil manuseio

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

O capítulo seguinte da presente dissertação mostrará o sistema desenvolvido em todas as suas fases, como o aparelho usado, o protocolo para captura da imagem, a posição que o paciente deve ficar, a configuração de como usar o método desenvolvido, os cálculos e as equações.

CAPÍTULO 3 – ALGORÍTMO GENÉTICO

3.1 Introdução

Os primeiros algoritmos inspirados na teoria de Evolução das Espécies surgiram nos anos 50 e 60, quando um aluno de doutorado da Universidade de Michigan chamado John Holland percebeu que existia uma analogia entre o comportamento do sistema de tratamento de água, que ele estava resolvendo, e o comportamento do processo evolutivo descrito por Darwin. Como resultado dessa constatação, Holland propôs o primeiro modelo de algoritmo genético denominado algoritmo R1 (Holland, 1975).

Na visão de Holland, o algoritmo genético iria trabalhar sobre uma população de indivíduos, considerados elementos do espaço de busca do problema investigado, a qual evoluiria até o momento em que esta população fosse constituída somente por indivíduos adaptados, que atendam à condição de satisfação definida para o problema. A evolução da população ocorreria pela ação dos operadores genéticos responsáveis pelo nascimento de novos indivíduos gerados pela ação dos operadores genéticos e, morte de indivíduos da população atual para a formação da próxima população.

No algoritmo R1, a cada execução todos os indivíduos da população atual são selecionados para gerar descendentes, mas somente o descendente mais adaptado gerados nascerão e farão parte da nova população e os indivíduos menos adaptados da população atual, morrerão. Com o passar do tempo Holland percebeu que seu algoritmo obtinha resultados muito bons, porém o tempo de convergência de seu algoritmo era extremamente lento para poder ser aplicada o problema complexo.

Pensando na aplicabilidade de seu algoritmo genético, Holland propõe o algoritmo genético Rd, onde toda a população atual é selecionada para gerar descendentes; a nova população será constituída somente pelos indivíduos descendentes mais adaptados que nascerão, enquanto todos os indivíduos da população atual morrerão. Assim, a nova população será formada somente pelos indivíduos gerados e adaptados. O tempo de convergência do algoritmo Rd foi muito menor que o do algoritmo R1, porém a qualidade dos resultados obtidos pelo algoritmo Rd era inferior à do algoritmo R1.

Neste momento, Holland refina mais uma vez seu modelo de algoritmo genético, codificando o algoritmo genético R, amplamente utilizado e referenciado

pela comunidade de computação evolutiva. Neste algoritmo, apenas uma parcela da população atual é selecionada para gerar descendentes. Uma quantidade pré-definida dos indivíduos descendentes que obtiverem os maiores valores de adaptação nascerá. Uma quantidade pré-definida dos indivíduos da população atual que obtiverem os menores valores de adaptação morrerá. A nova população será formada pelos indivíduos da população atual que não morreram e pelos indivíduos descendentes que nasceram. Assim, Holland conseguiu um algoritmo que gera resultados de boa qualidade e com um tempo de convergência aceitável para resolver problemas complexos.

O sucesso do algoritmo genético R na solução do problema trabalhado por Holland, em seu doutorado, fez com que vários outros pesquisadores tentassem resolver outros problemas com o algoritmo R. Toda vez que esses pesquisadores encontravam alguma dificuldade em resolver uma nova classe de problemas com o algoritmo R, eles faziam pequenas alterações nesse algoritmo, para que o mesmo fosse aplicável ao problema. Como resultado, foram geradas algumas variações do algoritmo R, as quais serão parcialmente descritas no restante deste capítulo.

3.2 O Algoritmo Genético de Holland

O pseudocódigo abaixo descreve o comportamento do algoritmo genético R de Holland, que trabalha com uma população representada por um vetor de indivíduos de tamanho m , onde cada indivíduo é representado por um vetor binário de tamanho n . As variáveis presentes neste algoritmo são: o número de gerações t , o número de indivíduos selecionados para gerar descendentes h , o número k de descendentes que nascerão, a população da t -ésima iteração do algoritmo $P(t)$, a subpopulação P' , da população atual, formada pelos indivíduos aptos a gerarem descendentes, a população de indivíduos descendentes P'' e o conjunto de operadores genéticos W . São os operadores genéticos do conjunto W que serão aplicados aos indivíduos da população P' para gerar os indivíduos da população P'' , os quais farão parte da próxima população $P(t+1)$.

Quadro 3.1 – Pseudo código do algoritmo genético R

início do procedimento R

inicialize a variável t

gera a população inicial $P(t)$

calcule o valor da adaptação dos indivíduos da população atual $P(t)$

enquanto (condição de parada não for satisfeita) **faça**

selecione os h indivíduos da população $P(t)$ aptos a gerar descendentes e coloque em P'

aplique os operadores genéticos de W nos indivíduos de P' e coloque eles em P''

selecione os k indivíduos mais adaptados de P'' e coloque em $P(t+1)$

selecione os $(m-k)$ indivíduos mais adaptados de P' e coloque em $P(t+1)$

calcula o valor da adaptação dos cromossomos de $P(t+1)$

incrementa o valor da variável t

fim do enquanto**fim do procedimento R**

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

A variável t do algoritmo genéticos é incrementado em cada execução do laço **faça-enquanto** para simular a contagem do tempo genealógico, como se fosse a passagem dos anos. A população atual $P(t)$ é formada por um conjunto de m indivíduos, os quais representam alguns dos possíveis resultados para o sistema adaptativo complexo em análise.

Dependendo do valor atribuído às variáveis h e k , do algoritmo R, pode-se obter o mesmo comportamento dos algoritmos R1 e Rd. Pois o algoritmo R1 pode ser considerado uma instancia do algoritmo R considerando $h=m$ e $k=1$, enquanto o algoritmo Rd é a instância do algoritmo R considerando $h=m$ e $k=m$.

Inicialmente é necessário gerar uma forma de codificar todos os elementos do espaço de busca do problema em um vetor binário, de tal forma que, exista uma função de decodificação garantida. Com esta codificação, pode-se gerar a população inicial para o algoritmo iniciar seu trabalho, dependendo da natureza do problema será

possível gerar esta população aleatoriamente ou será necessário captar os valores dos parâmetros dessa população do mundo real.

Por exemplo, um problema do tipo: ache as raízes de um polinômio de quinto grau $ax^5+bx^4+cx^3+dx^2+ex^1+f$ pode ter sua população inicial gerada aleatoriamente, uma vez que esta população não interferirá no resultado final do algoritmo. Ao passo que um problema do tipo: monitore o nível da água nos tanques de tratamento da companhia de distribuição água de Alagoas requer que o sistema capte o valor do nível de água de um sensor instalado em cada tanque, pois o nível de água em cada tanque, considerado na população inicial, influenciará diretamente no resultado obtido. Em seguida, deve-se definir a função de adaptação dos indivíduos, a qual serve para qualificar a quão boa é a solução codificada em um indivíduo. Para se definir a função de adaptação é necessário conhecer a função objetiva \hat{o} do sistema adaptativo em análise, se a função objetiva for de maximização, então a função de adaptação f do algoritmo genético será igual a \hat{o} , caso contrário, a função de adaptação f do algoritmo genético será igual a $-\hat{o}$. Essa convenção se faz necessária porque o algoritmo genético, por definição, estará sempre em busca do cromossomo mais adaptado.

O algoritmo genético R pode para pôr mais de uma condição de satisfação, sendo as mais comuns:

- executar até encontrar um indivíduo com o valor de adaptação desejada ou aceitável;
- executar até atingir a geração t_d , onde t_d , deve ser um número grande o suficiente para que o algoritmo ter condições de explorar o espaço de busca do problema;
- executar até obter d gerações consecutivas em que a população não se altera;
- ou qualquer combinação dessas condições de parada.

A seleção dos indivíduos da população atual $P(t)$, que estão aptos para gerar descendentes, denominada de seleção elitista, é formada pelos h primeiros indivíduos da população atual que codificam as soluções de melhor qualidade, ou seja, que possuem os maiores valores de adaptação. Note que se a população atual tiver mais do que h indivíduos com os melhores valores de adaptação isso irá resultar no abandono de parte desses indivíduos, pois a população P' somente poderá conter h indivíduos.

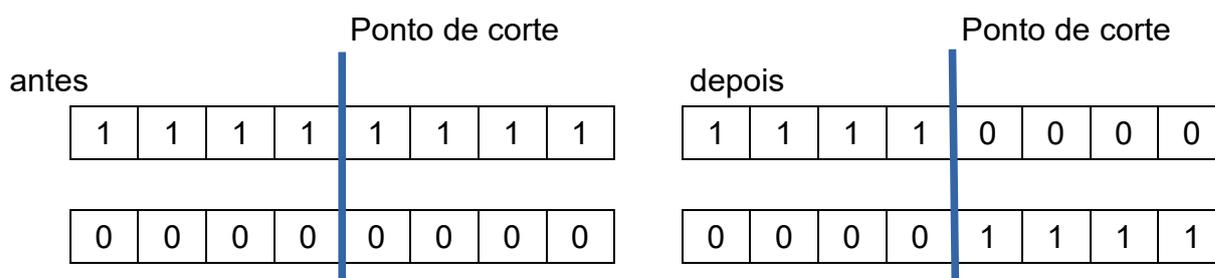
Os operadores genéticos trabalhados por Holland em seus algoritmos genéticos foram cruzamento, mutação e inversão. O operador de cruzamento tem por

objetivo combinar o material genético de dois indivíduos A e B para gerar dois descendentes C e D, onde o indivíduo A é representado pelo vetor binário $\langle a_1 a_2 \dots a_n \rangle$ e o indivíduo B é representado pelo vetor binário $\langle b_1 b_2 \dots b_n \rangle$. Primeiro gera-se aleatoriamente um valor x , denominado de ponto de corte, que determina a posição em que a combinação do material genéticos dos indivíduos A e B deve acontecer, com $1 \leq x \leq n$. Em seguida constrói-se os vetores dos indivíduos descendentes C e D da seguinte forma:

- o indivíduo $c \in C$ herda o material genético do indivíduo A da posição 1 até a posição x e o material genético do indivíduo de B da posição $x+1$ até a posição n , formando o vetor $\langle a_1 \dots a_x b_{x+1} \dots b_n \rangle$,
- enquanto os indivíduos $d \in D$ herda o material genético do indivíduo B da posição 1 até a posição x e o material genético do indivíduo A da posição $x+1$ até a posição n , formando o vetor $\langle b_1 \dots b_x a_{x+1} \dots a_n \rangle$.

Por ter somente um ponto de corte, este cruzamento passou a ser chamado de cruzamento de um ponto de corte. A Figura 3.1 ilustra um cruzamento de um ponto de corte, entre os indivíduos $A = \langle 11111111 \rangle$ e $B = \langle 00000000 \rangle$ considerando o valor do ponto de corte $x = 4$.

Figura 3.1 - Exemplo de cruzamento



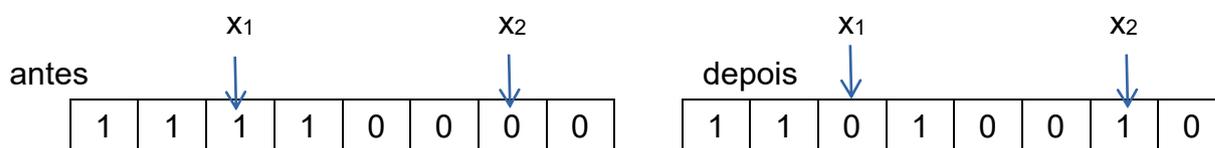
Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

O operador de mutação, tem por objetivo alterar o material genético de um indivíduo E de modo aleatória na expectativa de encontrar um outro indivíduo F mais adaptado do que o indivíduo E, onde o indivíduo E é representado pelo vetor binário $\langle e_1 e_2 \dots e_n \rangle$. Primeiro gera-se aleatoriamente um conjunto $X = \{x_1, x_2, \dots, x_j\}$ das posições onde as alterações devem ocorrer, com $1 \leq x_1 < x_2 < \dots < x_j \leq n$. Em seguida constrói-se o vetor do indivíduo mutante F da seguinte maneira:

- o indivíduo F herda o material genético do indivíduo E em todas as posições, gerando uma cópia deste indivíduo $\langle e_1e_2\dots e_n \rangle = \langle f_1f_2\dots f_n \rangle$,
- para todas as posições x_j , se substitua o conteúdo dessa posição no vetor pelo seu complemento, no caso do código binário o complemento de 1 é 0 e vice-versa.

Como as diferenças entre o indivíduo original E e o indivíduo mutante F é baseado no conceito de complemento de um número representado em uma determinada base, este operador ficou conhecido pelo nome mutação por complemento. A Figura 3.2 ilustra uma mutação no indivíduo E= $\langle 11110000 \rangle$ considerando $X = \{3,7\}$.

Figura 3.2 - Exemplo de mutação



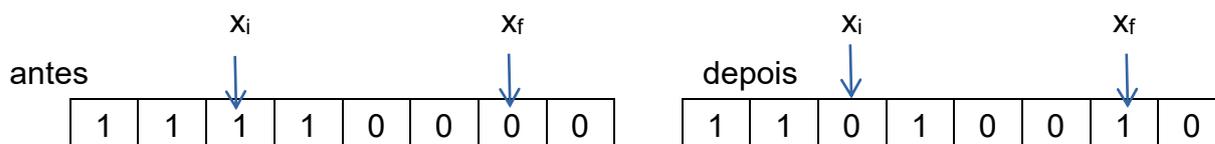
Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

O operador de inversão, tem por objetivo alterar o material genético de um indivíduo G em um trecho na expectativa de encontrar um outro indivíduo H mais adaptado do que o indivíduo G, onde o indivíduo G é representado pelo vetor binário $\langle g_1g_2\dots g_n \rangle$. Primeiro gera-se aleatoriamente os pontos de início x_i e fim x_f do trecho a ser invertido, com $1 \leq x_i < x_f \leq n$. Em seguida constrói-se o vetor do indivíduo mutante H da seguinte maneira:

- o indivíduo H herda o material genético do indivíduo G em todas as posições, gerando uma cópia deste indivíduo $\langle g_1g_2\dots g_n \rangle = \langle h_1h_2\dots h_n \rangle$,
- gera aleatoriamente os pontos de início x_i e fim x_f do trecho a ser invertido,
- inverte o trecho compreendido pelas posições geradas dentro do vetor H.

Como foi constatado que as diferenças entre o indivíduo original G e o indivíduo mutante H poderiam ser obtidas através da aplicação do operador genético de mutação. Uma vez que a ação do operador de mutação em todas as posições em que o vetor G é diferente do vetor H, sobre o indivíduo G gerará exatamente o indivíduo H. Assim, o operador de inversão deixou de ser usado e acabou sendo esquecido. A Figura 3.3 ilustra uma mutação no indivíduo G= $\langle 11110000 \rangle$ considerando $X = \{3,7\}$.

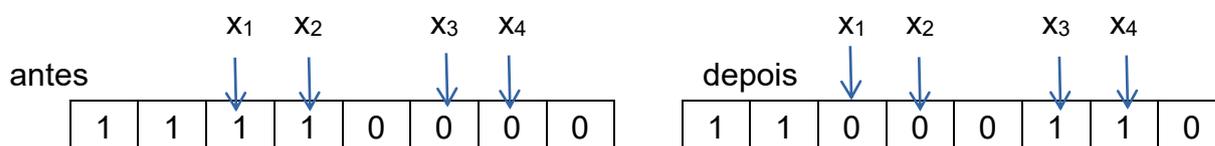
Figura 3.3 - Exemplo de inversão



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Veja que a mutação aplicada sobre o indivíduo G nas posições em que este indivíduo difere do indivíduo H, no caso considerando $X=\{3,4,6,7\}$ gera exatamente o mesmo indivíduo H do exemplo acima (Figura 3.4).

Figura 3.4 - Exemplo de equivalência da inversão com a mutação



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

3.3 Variação da representação do Algoritmo Genético de Holland

O indivíduo nos algoritmos genéticos de Holland são representados por vetores binários de tamanho n , tal representação requer a necessidade de codificar a estrutura do resultado de um problema em um vetor binário, o que é uma fonte de erros sempre que esta codificação não se processar de modo exato. Nesse momento, a quantidade de elementos representados pelo vetor binário é maior do que a quantidade de elemento pertencentes ao espaço de busca do problema. Outro problema com a representação do indivíduo é que ela requer um processamento adicional para codificação e decodificação os indivíduos da população. Na tentativa de evitar este problema, Antonisse (1989) propôs a representação do indivíduo por cadeias alfanuméricas de comprimento fixo com e sem repetições, as quais aumentam o poder de representação e impedem que a aplicação dos operadores genéticos sobre os indivíduos da população auxiliar P' possa gerar mais indivíduos do que o tamanho do espaço de busca para o problema.

Porém, nem sempre o programador sabe como estimar o tamanho do vetor que representa um resultado do problema, o que pode ocorrer em problemas onde o resultado pertence ao conjunto dos números reais. Essa limitação fez Smith (1993) propor que representação do indivíduo fosse uma cadeia alfanumérica de tamanho

variado. A representação de Smith fez retornar à possibilidade de gerar indivíduos pela ação dos operadores genéticos que não pertencem ao espaço de busca do problema. A solução veio novamente de Antonisse (1991), que propõe uma representação por cadeias alfanumérica de tamanho variado, mas derivada por uma gramática.

A representação da população por um vetor tamanho fixo m , também foi muito criticada por limitar o número de indivíduos investigados pelo algoritmo genético, sendo por isto, responsável pela perda de indivíduos contendo em seu material genético informações relevantes para o problema em análise. Para contornar este problema Arabas et al. (1994) propõem a representação da população por uma lista de indivíduo e a inclusão de dois atributos para o indivíduo, a idade e o tempo de vida. Dessa forma, ao nascer cada indivíduo teria idade igual à 0 e tempo de vida calculado em função da sua adaptação confrontada com a adaptação da população atual, de modo que se o indivíduo fosse considerado muito adaptado seu tempo de vida seria longo, caso contrário curto.

Algumas das formas para estimar o tempo de vida de um indivíduo foram:

- proporcional $\min(\text{MinLT} + \eta \frac{\text{fitness}[i]}{\text{AvgFit}}, \text{MaxLT})$ e
- linear $\text{MinLT} + 2\eta \frac{\text{fitness}[i] - \text{AbsFitMin}}{\text{AbsFitMax} - \text{AbsFitMin}}$

onde MinLT - é uma constante o tempo de vida mínimo pré-definida

MaxLT - é uma constante o tempo de vida máximo pré-definida

η - é a média aritmética da diferença entre as constantes do tempo de vida máximo e mínimo

$\text{fitness}[i]$ - é o valor da adaptação do indivíduo i

AvgFit - é o valor da adaptação média da população

AbsFitMin - é o valor absoluto da adaptação do indivíduo menos adaptado da população

AbsFitMax - é o valor absoluto da adaptação do indivíduo mais adaptado da população

3.4. Variação da seleção do Algoritmo Genético de Holland.

O procedimento que seleciona indivíduos aptos da população atual para gerar descendentes proposta por Holland é denominada de seleção elitista, pois somente os h indivíduos mais adaptados da população atual podem gerar descendentes. Um problema ocorre quando existir alguma informação relevante para o problema no

material genético de um indivíduo com adaptação baixa, pois esta informação será perdida e pode não ser mais recuperada durante as gerações seguintes do trabalhadas pelo algoritmo, conduziram para uma população final formada por ótimos locais.

Uma forma de preservar o material genético dos indivíduos com baixo valor de adaptação, seria um procedimento de seleção denominado roleta (De Jonge, 1975). Esta seleção inicia com a construção de uma roleta, a qual tem uma região ocupada por cada indivíduo da população atual. Sendo a área da região de um indivíduo diretamente proporcional a seu valor de adaptação e inversamente proporcional ao valor da adaptação total da população. Para selecionar um indivíduo basta rodas a roleta, quando esta parar o indivíduo que ocupar a posição correspondente a um ponteiro fixo será considerado apto para gerar descendentes. O procedimento de seleção roleta deve ser executado tantas vezes quantas forem necessários para se obter h indivíduos.

A seleção roleta funcionou bem para seu propósito, mas ela fez com que a execução do algoritmo genético se tornasse lenta, pensando em dar agilidade esta seleção propôs a seleção estocástica (Fogel e Ghozeil, 1998), em que cada vez que a roleta é girada ao invés de selecionar um indivíduo por vez, ela seleciona tantos indivíduos quantos forem o número de ponteiros fixo colocados ao redor da roleta.

3.5 Variação do cruzamento do Algoritmo Genético de Holland.

A combinação do material genéticos de dois indivíduos realizada por cruzamento de um ponto de corte recebeu críticas, uma vez que este cruzamento gerava muitos descendentes que eram praticamente uma cópia de um dos indivíduos progenitores. Com o intuito de tratar este problema, foi proposta a operação de cruzamento de vários pontos de corte (TANG, 1996). Neste cruzamento, para combinar o material genético de dois indivíduos A e B e gerar dois descendentes C e D. Primeiro gera-se aleatoriamente um conjunto $X=\{x_1, x_2, \dots, x_j\}$ de pontos de corte, com $1 \leq x_1 < x_2 < \dots < x_j \leq n$. Em seguida constrói-se os vetores dos indivíduos descendentes C e D da seguinte forma:

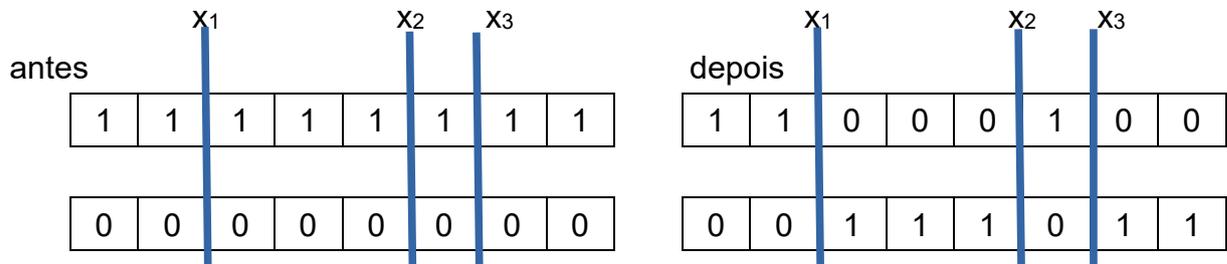
- o indivíduo C herda o material genético do indivíduo A da posição 1 até a posição x_1 , em seguida o indivíduo C herda o material genético do indivíduo B da posição x_1 até a posição x_2 e assim por diante, o indivíduo C vai

alternando de qual progenitor irá herdar o próximo trecho de seu material genético,

- enquanto o indivíduo D herda o material genético do indivíduo B da posição 1 até a posição x_1 , em seguida o indivíduos D herda o material genético do indivíduo A da posição x_1 até a posição x_2 e assim por diante, o indivíduo D vai alternando de qual progenitor irá herdar o próximo trecho de seu material genético

A Figura 3.5 ilustra um cruzamento de vários pontos de corte, entre os indivíduos $A = \langle 11111111 \rangle$ e $B = \langle 00000000 \rangle$, considerando $X = \{2, 5, 6\}$.

Figura 3.5 - Exemplo de cruzamento de vários pontos de corte



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Apesar do cruzamento de vários pontos de corte ter sido proposto para garantir que os indivíduos descendentes não sejam uma cópia dos indivíduos progenitores, ele não obteve êxito em seu objetivo. Isto porque o tamanho da soma dos trechos do material genético copiado de cada progenitor ainda pode gerar grande distorção, formando indivíduos descendentes com mais de 70% do material genético de um dos progenitores.

Uma forma bem sucedida de evitar que os indivíduos descendentes sejam quase uma cópia de seus progenitores é trabalhar com o cruzamento proporcional (Syswerda, 1989), que é um cruzamento de vários pontos de corte e com a exigência de que cada indivíduo descendente herde aproximadamente 50% do material genético de cada indivíduo progenitor.

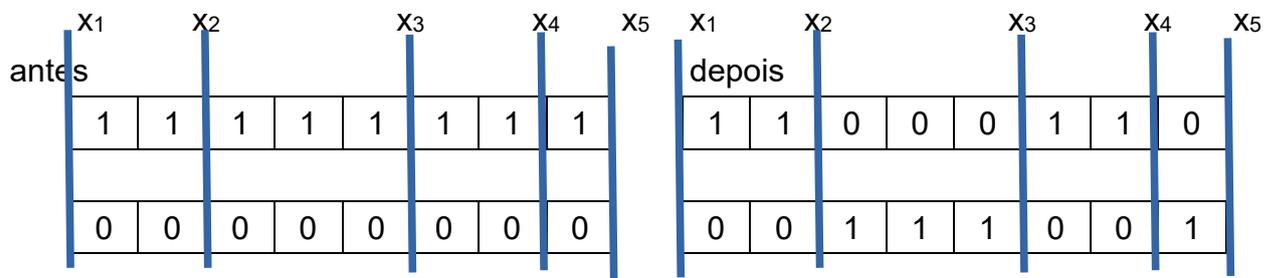
O comportamento do cruzamento proporcional entre dois indivíduos A e B para produzir dois descendentes C e D, pode ser assim resumido: gera-se aleatoriamente um conjunto $X = \{x_1, x_2, \dots, x_j\}$ de pontos de corte, com $1 \leq x_1 < x_2 < \dots < x_j \leq n$. Se x_1 for diferente de 1, então inclua a posição 1 no conjunto X . Se x_j for diferente de n , então inclua a posição n no conjunto X . A soma de todas as distâncias entre um ponto de

corte x_j , com j ímpar, e o próximo ponto de corte x_{j+1} tem que ser igual à soma de todas as distâncias entre um ponto de corte x_j , com j par, e o próximo ponto de corte x_{j+1} . Em seguida constrói-se os vetores dos indivíduos descendentes C e D da seguinte forma:

- o indivíduo C herda o material genético do indivíduo A da posição x_1 até a posição x_2 , em seguida o indivíduo C herda o material genético do indivíduo B da posição x_2 até a posição x_3 e assim por diante, o indivíduo C vai alternando de qual progenitor irá herdar o próximo trecho de seu material genético,
- enquanto o indivíduo D herda o material genético do indivíduo B da posição x_1 até a posição x_2 , em seguida o indivíduo D herda o material genético do indivíduo A da posição x_2 até a posição x_3 e assim por diante, o indivíduo D vai alternando de qual progenitor irá herdar o próximo trecho de seu material genético.

A Figura 3.6 ilustra um cruzamento de proporcional, entre os indivíduos $A = \langle 11111111 \rangle$ e $B = \langle 00000000 \rangle$, considerando $X = \{1, 2, 5, 7, 8\}$.

Figura 3.6 - Exemplo de cruzamento de vários pontos de corte



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

3.6 Variação da mutação do Algoritmo Genético de Holland.

O operador de mutação é responsável pelo aparecimento de um material genético que não está presente no indivíduo original. O comportamento deste operador genético faz com que o algoritmo genético consiga fazer uma busca fina na vizinhança do indivíduo original. A principal crítica à operação de mutação por complemento é a possibilidade de aplicá-la em um problema de otimização combinatorial de se obter indivíduos que não pertencem ao espaço de busca do problema investigado. Uma forma de evitar que isso aconteça é trabalhar com um

indivíduo representado por um vetor de tamanho fixo alfanumérico sobre o qual se aplica a mutação por troca.

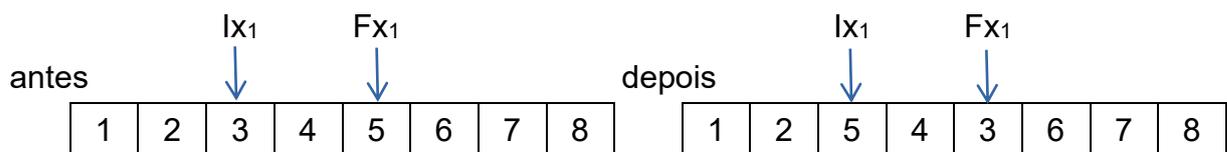
A mutação por troca (Hsu,1995) recebe um indivíduo E e retorna um indivíduo F, tal que todo o material genético contido no indivíduo E está presente no indivíduo F apenas em posições diferentes. O comportamento desse operador gera a permutação da posição do material genético do indivíduo original de modo aleatória na expectativa de que o indivíduo F seja mais adaptado do que o indivíduo E. Primeiro gera-se aleatoriamente um conjunto $X=\{(lx_1, Fx_1), (lx_2, Fx_2), \dots, (lx_j, Fx_j)\}$ de pares de posições para troca, onde lx_1 é a posição que será permutada com posição Fx_1 , com $1 \leq lx_1 < lx_2 < \dots < lx_j \leq n$ e $1 \leq Fx_1 < Fx_2 < \dots < Fx_j \leq n$. Em seguida constrói-se o vetor do indivíduo mutante F da seguinte maneira:

- o indivíduo F herda o material genético do indivíduo E em todas as posições, gerando uma cópia deste indivíduo $\langle e_1 e_2 \dots e_n \rangle = \langle f_1 f_2 \dots f_n \rangle$,
- para cada par (lx_j, Fx_j) , troque o material genético da posição lx_j no vetor F pelo material genético da posição Fx_j no mesmo vetor.

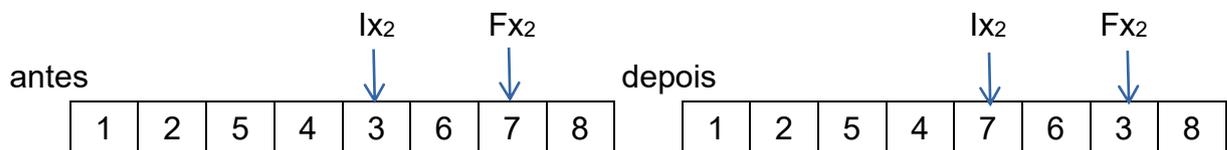
Observe que nada impede que um material genético troque de posição várias vezes na mesma execução do operador de mutação por troca. A Figura 3.7 ilustra uma mutação por troca no indivíduo $E = \langle 11110000 \rangle$, considerando $X = \{(3,5), (5,7), (7,8)\}$.

Figura 3.7 - Exemplo por troca mutação

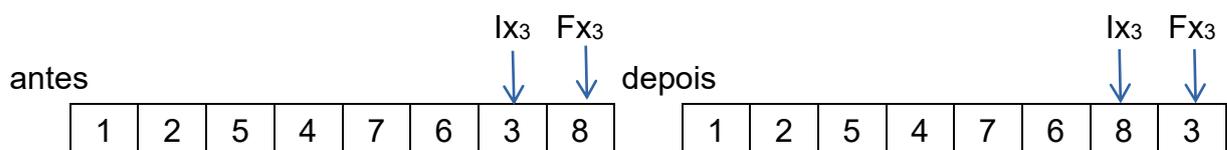
primeira troca (3,7)



segunda troca (5,7)



terceira troca (7,8)



terceira troca

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

3.7 Variação da substituição do Algoritmo Genético de Holland.

A substituição é o procedimento do algoritmo genético responsável por construir a nova população com os indivíduos presentes na população atual P e na população de descendentes P'' , que apresentam o conjunto dos indivíduos mais adaptados até o momento atual para o problema tratado. O efeito da substituição elitista, proposto por Holland, que prioriza os k indivíduos mais adaptados da população de descendentes P'' em detrimento dos k indivíduos menos adaptados da população atual P é a perda de material genético considerado relevante para o problema contida no material genético de um indivíduo menos adaptado, como ocorre na seleção elitista.

Uma proposta de substituição para evitar este problema é a substituição determinística (Mahfoud, 1992), que forma a nova população P com os indivíduos da população atual P , que apresentares valor de adaptação maior ou igual ao valor de adaptação dos seus descendentes na população P'' , e com os indivíduos da população auxiliar P'' , que apresentares valor de adaptação maior do que o valor de adaptação dos seus progenitores.

O comportamento da substituição determinística pode ser realizado, executando os seguintes passos:

- pegue dois indivíduos A e B , aptos a cruzarem.
- submeta os indivíduos A e B a operação de cruzamento, obtendo os indivíduos descendentes C e D .
- submeta o indivíduo descendente C a operação de mutação, obtendo o indivíduo mutante E .
- submeta o indivíduo descendente D a operação de mutação, obtendo o indivíduo mutante F .
- fique com o par de indivíduos descendente, cuja a soma da adaptação de seus componentes for a maior, entre os pares (C, D) , (E, F) , (E, D) ou (C, F) . Para efeito de descrição considere que o par escolhido foi (C, F) .
- se a adaptação do indivíduo C for maior do que a do indivíduo A , então substitua na população atual o indivíduo A pelo indivíduo C .
- se a adaptação do indivíduo F for maior do que a do indivíduo B , então substitua na população atual o indivíduo B pelo indivíduo F .
- proceda da mesma forma para todos os pares de indivíduos aptos a cruzarem na população atual.

O resultado é uma população formada pelos indivíduos da população atual e por seus descendentes, com garantia de melhora na adaptação média da população e sem perda de material genético, pois um indivíduo só pode morrer se deixar algum descendente nascer.

3.8 Considerações Finais

No presente capítulo apresentou-se o algoritmo genético de Holland e algumas variações do mesmo, existem muito outras variações do algoritmo genético de Holland na literatura além das apresentadas. Isso porque o objetivo do autor não era apresentar todas as variações existentes, até mesmo porque este seria um objetivo impossível de alcançar, já que todo dia surge uma nova variação do algoritmo genético de Holland. Mas apenas ilustrar para o leitor que o algoritmo genético implementado como parte do sistema desta dissertação nada mais é do que uma variação do algoritmo genético de Holland.

CAPÍTULO 4 – O SISTEMA COLUMN

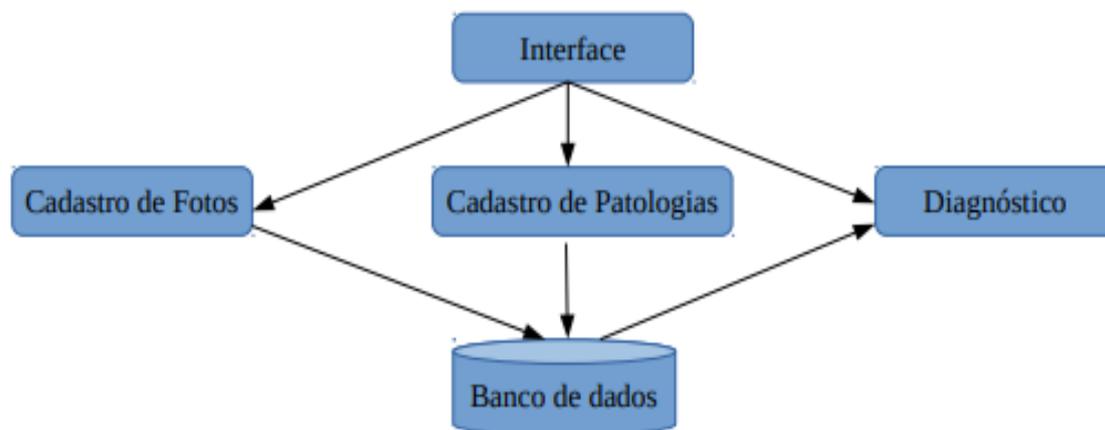
4.1 Introdução

O COLUMN é um sistema de acompanhamento do diagnóstico da cifose e lordose torácica desenvolvido para ser usado por um usuário leigo ou por um atendente de saúde primária, que é um profissionais com conhecimento generalizado de saúde cujo serviço é voltado para ações preventivas de saúde comunitária, mais especificamente na Estratégia de Saúde da Família, os quais realizam visitas domiciliares (MENEZES JR. et. al., 2011).

Em um primeiro momento da pesquisa pensou-se na utilização de dados reais, ou seja, fotos tiradas para o sistema, porém devido a pandemia não foi viável prosseguir com essa meta devido à dificuldade de pegar autorização de pessoas para usar na avaliação com o COLUMN. Assim, optou-se por tirar uma fotografia da coluna do autor para ajudar na elaboração do modelo. Deste modo, a imagem passou por um tratamento no Photoshop para manipular os ângulos da coluna e o tamanho e assim ser usada no modelo desenvolvido.

O COLUMN faz uso tanto de técnica de tratamento de imagem com inteligência artificial para gerar uma previsão da evolução dos ângulos da coluna de uma pessoa. O uso de técnicas de inteligência artificial como ferramenta de apoio ao diagnóstico médico é tão antigo quanto a própria inteligência artificial. Sendo o sistema especialista Mycin (DUDA; SHOTLIFFE, 1983), desenvolvido na Universidade de Stanford, um dos primeiros sistemas especialistas para diagnóstico médico registrado, o Mycin foi usado para prescrever antibiótico à um paciente com infecção severa. Nos dias atuais a inteligência artificial é empregada em várias aplicações na área médica como: em sistemas de electrocirurgia (CAZAC; RADU, 2014); análise das imagens geradas por exames como radiografia, tomografia computadorizada (VERONEZI et. al, 2011) e sistemas de monitoramento dos sinais vitais de pacientes em casa (KAZANTSEV et al, 2012).

Figura 4.1 – Arquitetura do COLUMN



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

A Figura 4.1 mostra como os quatro módulos e a base de dados que compor o sistema COLUMN se relacionam. No restante deste capítulo será detalhado o funcionamento de cada um dos componentes desse sistema.

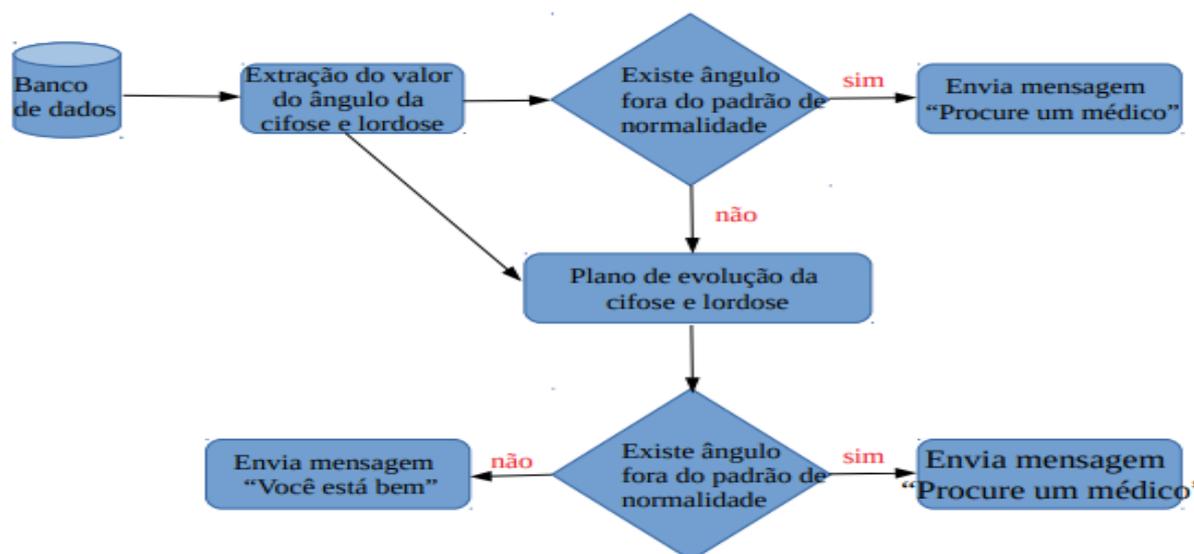
4.2 O módulo de Interface

Ao inicializar o COLUMN, o sistema fornecerá ao usuário três opções: Cadastro de Fotos, Cadastro de Patologias e Diagnóstico. Dependendo da escolha que o usuário o fizer será direcionado para um módulo diferente do sistema.

Ao escolher a opção Cadastro de Fotos o sistema solicitará ao usuário o número de fotos a serem consideradas, informando ao usuário que as fotos fornecidas devem ser do mesmo paciente, terem sido tiradas de perfil, com a câmera a um metro de distância e na altura da cintura do paciente, o fundo da foto deve ser branco e o intervalo de tempo de uma foto para a outra deve ser de aproximadamente 1 mês. Em seguida, o sistema solicitará o arquivo de cada foto em ordem cronológica, a cada arquivo fornecido o sistema abrirá e pedirá ao usuário que marque sobre a foto cinco pontos os pontos, correspondendo as vértebras T1, T4, T12, L4 e S1.

Ao escolher a opção Cadastro de Patologias, o sistema exibirá uma janela com o nome das patologias (cifose e lordose) ao lado de duas caixas de entrada, uma com o valor mínimo e outra com o máximo do ângulo normal no diagnóstico de cada patologia considerada.

Figura 4.2 - Arquitetura do módulo de diagnóstico do COLUMN



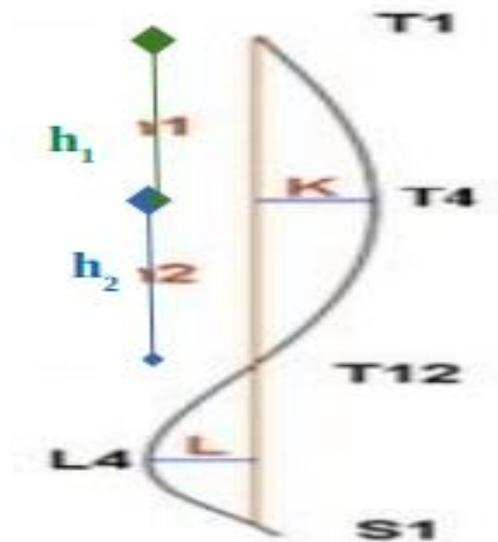
Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Ao escolher a opção de Diagnóstico (Figura 4.2), o sistema pegará as fotos da base de dados e extrairá delas o valor dos ângulos de diagnóstico da cifose e lordose. A extração destes valores é realizada da seguinte forma:

- as fotos com as marcações do usuário para o diagnóstico da cifose são recuperadas da base de dados. Em seguida é desenhado uma reta imaginária do vértice T4 ao ponto K, onde o ponto K pertence a reta que liga as vertebrais T1 e T12, formando um triângulo (Figura 4.3). Os ângulos para o diagnóstico são: o que tem como lados os seguimentos de reta T1T4 e T4K e o que tem como lados os seguimentos de reta T4K e T4T12.
- as fotos com as marcações do usuário para o diagnóstico da lordose são recuperadas da base de dados. Em seguida é desenhado uma reta imaginária do vértice T12 ao ponto L, onde o ponto L pertence a reta que liga as vertebrais T12 e S1, formando um triângulo (Figura 4.4). Os ângulos para o diagnóstico são o que tem como lados os seguimentos de retas e o que tem como lados o seguimentos de reta LL4 e L4S1.

No COLUMN, o algoritmo que calcula valor do ângulo σ para o diagnóstico do desvio da coluna humana cifose é dado pela soma do σ_1 com o σ_2 como pode ser visto na Equação 1.

Figura 4.3 – Imagem mostrando T1, T4, T12 os ângulos da cifose



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

As equações para calcular os ângulos da cifose.

$$\sigma_1 = 180 - \arctang \frac{h_1}{k}$$

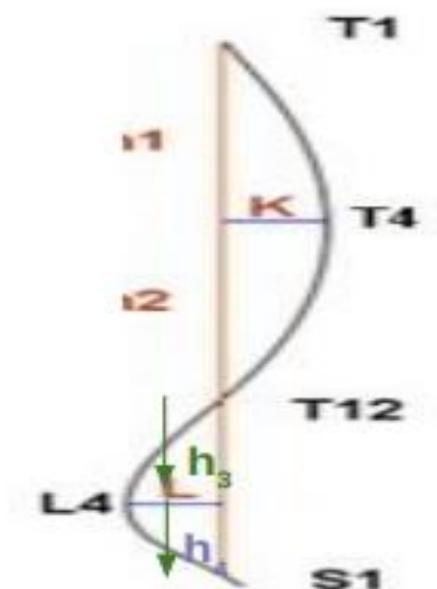
$$\sigma_2 = 180 - \arctang \frac{h_2}{k}$$

$$\sigma = \sigma_1 + \sigma_2$$

(Equação 1)

No COLUMN o algoritmo que calcula valor do ângulo σ para o diagnóstico do desvio da coluna humana lordose é dado pela soma do σ_1 com o σ_2 como pode ser visto na Equação 2.

Figura 4.4 – Imagem mostrando T12, L4 e S1 e os ângulos da lordose



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

As equações para calcular os ângulos da lordose.

$$\sigma_1 = 180 - \arctang \frac{h_3}{L}$$

$$\sigma_2 = 180 - \arctang \frac{h_4}{L}$$

$$\sigma = \sigma_1 + \sigma_2$$

(Equação 2)

Se a medida de qualquer um desses ângulos estiverem fora do intervalo de normalidade cadastrado, então o sistema retornará uma mensagem para o paciente informando que o mesmo deverá procurar um médico, senão o sistema ativará o módulo de acompanhamento da evolução da cifose e lordose para a coluna do paciente nos próximos 5 meses. Ao término da execução do acompanhamento o sistema informará ao paciente se sua saúde está boa ou se ele deve procurar um médico.

Uma descrição detalhada do módulo para acompanhamento da evolução da cifose e lordose será mostrado na próxima seção.

4.3 O módulo de plano da evolução.

Uma variação do algoritmo R foi modelada para realizar o plano de evolução dos ângulos da cifose e lordose da coluna do paciente para os próximos 5 meses trabalha com uma população de 10 indivíduos, onde o indivíduo é representado por uma matriz Indivíduo de 4 linhas e 20 colunas de números reais, onde os números de linhas corresponde a variação dos ângulos em porcentagem e o número máximo de fotos consideradas. Deve-se observar que a escolha do número de colunas foi feita em função do tempo e do hardware utilizado no experimento, um computador com o processador CORE i3, com 2GB memória, levando um tempo de convergência de um minuto o que é considerado um tempo plausível para um aplicativo de celular.

Os dados armazenados na matriz indivíduo são inicialmente os valores obtidos das fotos da coluna do paciente, seguidos de valores geradas pelo sistema. Os dados obtidos das fotos não poderão ser alterados durante todo o processo de evolução da população.

A matriz que representação o indivíduo tem suas linhas destinadas a armazenar os seguintes dados:

- a primeira linha armazenará os valores de variação do ângulo da cifose, sendo as primeiras colunas destinadas a armazenar dados obtidos pelo módulo de extração do ângulo da cifose e lordose, enquanto as outras colunas armazenam dados gerados aleatoriamente pelo sistema limitado a taxa de alteração do ângulo da cifose $tx(c)$;
- a segunda coluna armazena os valores dos ângulos da cifose, sendo as primeiras colunas destinadas a armazenar dados obtidos pelo módulo de extração do ângulo da cifose e lordose, enquanto as outras colunas armazenam dados calculados a partir do valor armazenado na coluna anterior acrescido do valor da taxa de alteração do ângulo da cifose;
- a terceira linha armazenará os valores de variação do ângulo da lordose, sendo as primeiras colunas destinadas a armazenar dados obtidos pelo módulo de extração do ângulo da cifose e lordose, enquanto as outras colunas armazenam dados gerados aleatoriamente pelo sistema limitado a taxa de alteração do ângulo da lordose; e
- a quarta coluna armazena os valores dos ângulos da lordose, sendo as primeiras colunas destinadas a armazenar dados obtidos pelo módulo de extração do ângulo da cifose e lordose, enquanto as outras colunas armazenam dados calculados a partir do valor armazenado na coluna anterior

acrescido do valor da taxa de alteração do ângulo da lordose $tx(l)$.

A taxa de alteração do ângulo da cifose e lordose é calculada a partir das taxas de alteração da referida patologia presentes nas primeiras colunas da matriz Indivíduo, de uma das maneiras abaixo:

- a dia das taxas de alteração correspondentes aos dados extraídos das fotos;
- o maior valor de taxas de alteração presentes nos dados extraídos das fotos;
- o menor valor de taxa de alteração presentes nos dados extraídos das fotos;
- a média das taxas de alteração presentes nos dados extraídos das fotos, desprezando o valor da menor taxa encontrada;
- a média das taxas de alteração presentes nos dados extraídos das fotos, desprezando o valor da maior taxa encontrada; e
- a média das taxas de alteração presentes nos dados extraídos das fotos, desprezando o valor da menor e maior taxa encontrada.

Os indivíduos da população conterão o mesmo valor em todas as colunas correspondentes aos dados obtidos pelo módulo de extração do ângulo da cifose e lordose. Por ser um algoritmo para tentar prevenir a evolução do aumento do grau do desvio da coluna no caso da cifose e lordose para os próximos 5 meses, o COLUMN precisará que o número de fotos na base de dados do paciente seja no mínimo 2 e no máximo 15. O limite inferior de fotos se justifica porque é necessário pelo menos duas medidas de ângulo para calcular a primeira taxa de alteração de ângulo. Já o limite superior está comprometido com o objetivo do sistema de tentar prever a evolução para os próximos 5 meses.

Os operadores genéticos que serão aplicados aos indivíduos da população atual gerar descendentes mais adaptados são cruzamento por média aritmética e mutação por acréscimo. O operador de cruzamento por média aritmética, tem por objetivo combinar o material genético de dois indivíduos A e B para gerar um descendentes C, onde o indivíduo C contém os valores em suas células iguais a média aritmética dos valores presentes nos indivíduos progenitores. O comportamento deste operador de cruzamento pode ser assim resumido:

- veja a quantidade x de ângulos de cifose ou lordose recebidos do módulo de extração do ângulo da cifose e lordose
- o indivíduo C herda o material genético do indivíduo A da posição 1 até a posição x em todas as suas linhas
- o indivíduo C herda o material genético do indivíduo A e B da posição x até a

posição 20, em todas as suas linhas conforme a equação abaixo:

$$matrizIndividuo[i, j] = \frac{matrizIndividuoA[i, j] + matrizIndividuoB[i, j]}{2}$$

(Equação 3)

A Figura 4.5 ilustra um cruzamento por média aritmética entre dos indivíduos.

O operador de mutação por acréscimo, tem por objetivo gerar uma alteração no material genético de indivíduos E para gerar um indivíduo mutante F, onde o indivíduo F contém os valores em suas células iguais ao indivíduo E em todas as colunas antes da posição y, selecionada aleatoriamente para sofreu acréscimo, onde y não pode pertencer ao conjunto de colunas em que os valores foram extraídos das fotos. O comportamento deste operador de mutação pode ser assim resumido:

- veja a quantidade x de ângulos de cifose ou lordose recebidos do módulo de extração do ângulo da cifose e lordose
- selecione aleatoriamente uma posição y, com $x+1 \leq y \leq 20$
- o indivíduo F herda o material genético do indivíduo E da posição 1 até a posição y em todas as suas linhas.
- selecione um valor de acréscimo z pertencente a intervalo $[0, (1-x(c)/10)]$ ou $[0, (1-x(l)/10)]$
- os indivíduos F herda o material genético do indivíduo E na posição j, com j variando

de y+1 até 20, em todas as suas linhas conforme a equação abaixo:

$$matrizIndividuo[i, j] = matrizIndividuoE[i, j] + matrizIndividuoE[i, j] \times \left(\frac{z}{100}\right)$$

(Equação 4)

A Figura 4.6 ilustra uma mutação por acréscimo de um indivíduo, considerando z cifose 0,8 é e z da lordose é 0,4.

Figura 4.5 - Exemplo de cruzamento por média aritmética.

Indivíduo A										Posição a partir da qual os valores são calculados									
0	48	5,71	8,81	0,78	5,44	6,14	2,66	0,56	0,44	8	7	2	6	3	5	2	4	2	5
22,5	33,3	35,2	38,3	38,6	40,7	43,2	44,35	44,6	44,8	48,38	51,77	52,80	55,97	57,65	60,54	61,75	64,22	65,50	68,78
0	2,05	4,42	11,53	4,48	2,64	10,9	0,64	0,86	4,57	2	1	3	4	4	2	1	3	4	2
24,4	24,9	26	29	30,3	31,1	34,48	34,7	35	36,6	37,33	37,71	38,84	40,39	42,01	42,85	43,27	44,57	46,36	47,28

Indivíduo B																			
0	48	5,71	8,81	0,78	5,44	6,14	2,66	0,56	0,44	5	8	6	6	8	1	1	7	1	4
22,5	33,3	35,2	38,3	38,6	40,7	43,2	44,35	44,6	44,8	47,04	50,80	53,85	57,08	61,64	62,26	62,88	67,29	67,96	70,68
0	2,05	4,42	11,53	4,48	2,64	10,9	0,64	0,86	4,57	2	3	1	4	3	1	4	2	2	3
24,4	24,9	26	29	30,3	31,1	34,48	34,7	35	36,6	37,33	38,45	38,84	40,39	41,60	42,02	43,70	44,57	45,46	46,83

Indivíduo C																			
0	48	5,71	8,81	0,78	5,44	6,14	2,66	0,56	0,44	6,5	7,5	4	6	5,5	3	1,5	5,5	1,5	4,5
22,5	33,3	35,2	38,3	38,6	40,7	43,2	44,35	44,6	44,8	47,71	51,28	53,33	56,53	59,65	61,40	62,31	65,75	66,73	69,73
0	2,05	4,42	11,53	4,48	2,64	10,9	0,64	0,86	4,57	2	2	2	4	3,5	1,5	2,5	2,5	3	2,5
24,4	24,9	26	29	30,3	31,1	34,48	34,7	35	36,6	37,33	38,08	38,84	40,39	41,80	42,43	43,49	44,57	45,91	47,06

Figura 4.6 - Exemplo de mutação por acréscimo

Indivíduo E										Posição a partir da qual os valores são calculados									
0	48	5,71	8,81	0,78	5,44	6,14	2,66	0,56	0,44	8	7	2	6	3	5	2	4	2	5
22,5	33,3	35,2	38,3	38,6	40,7	43,2	44,35	44,6	44,8	48,38	51,77	52,80	55,97	57,65	60,54	61,75	64,22	65,50	68,78
0	2,05	4,42	11,53	4,48	2,64	10,9	0,64	0,86	4,57	2	1	3	4	4	2	1	3	4	2
24,4	24,9	26	29	30,3	31,1	34,48	34,7	35	36,6	37,33	37,71	38,84	40,39	42,01	42,85	43,27	44,57	46,36	47,28

Indivíduo F																			
0	48	5,71	8,81	0,78	5,44	6,14	2,66	0,56	0,44	8	7	2	6	3,3	5,5	2,2	4,4	2,2	5,5
22,5	33,3	35,2	38,3	38,6	40,7	43,2	44,35	44,6	44,8	48,38	51,77	52,80	55,97	57,82	61	62,34	65,09	66,52	70,18
0	2,05	4,42	11,53	4,48	2,64	10,9	0,64	0,86	4,57	2	1	3	4	4,4	2,2	1,1	3,3	4,4	2,2
24,4	24,9	26	29	30,3	31,1	34,48	34,7	35	36,6	37,33	37,71	38,84	40,39	42,17	43,09	43,57	45,01	46,99	48,04

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

O grau de adaptação de um indivíduo é calculado em função do valor cadastrado para o intervalo considerado normal do ângulo da cifose e lordose. Basicamente o sistema verifica se o valor de cada ângulo nas células do indivíduo pertence ao intervalo de normalidade da patologia correspondente, se sim ele acrescenta 0 ao valor da adaptação, senão ele com o 1. A qual pode ser definida pelo sistema de equação abaixo.

$$\text{adapt}(ind, c) = \begin{cases} 1 + \text{adapt}(ind, c+1) & \text{se } (c \neq x) \wedge (ind[2, c] \in I_{Cifose}) \wedge (ind[3, c] \notin I_{Lordose}) \\ 1 + \text{adapt}(ind, c+1) & \text{se } (c \neq x) \wedge (ind[2, c] \notin I_{Cifose}) \wedge (ind[3, c] \in I_{Lordose}) \\ 2 + \text{adapt}(ind, c+1) & \text{se } (c \neq x) \wedge (ind[2, c] \notin I_{Cifose}) \wedge (ind[3, c] \notin I_{Lordose}) \\ 0 + \text{adapt}(ind, c+1) & \text{se } (c \neq x) \wedge (ind[2, c] \in I_{Cifose}) \wedge (ind[3, c] \in I_{Lordose}) \end{cases}$$

(Equação 5)

Onde I_{Cifose} é o intervalo em que o ângulo da cifose é considerado normal, $I_{Lordose}$ é o intervalo em que o ângulo da cifose é considerado normal e x é o número de fotos consideradas na análise.

A seleção adotada foi a roleta e a forma de substituição foi a elitista. Na próxima seção será apresentada algumas simulações feitas no sistema COLUMN para o diagnóstico da evolução dos ângulos de cifose e lordose.

4.4 Resultados.

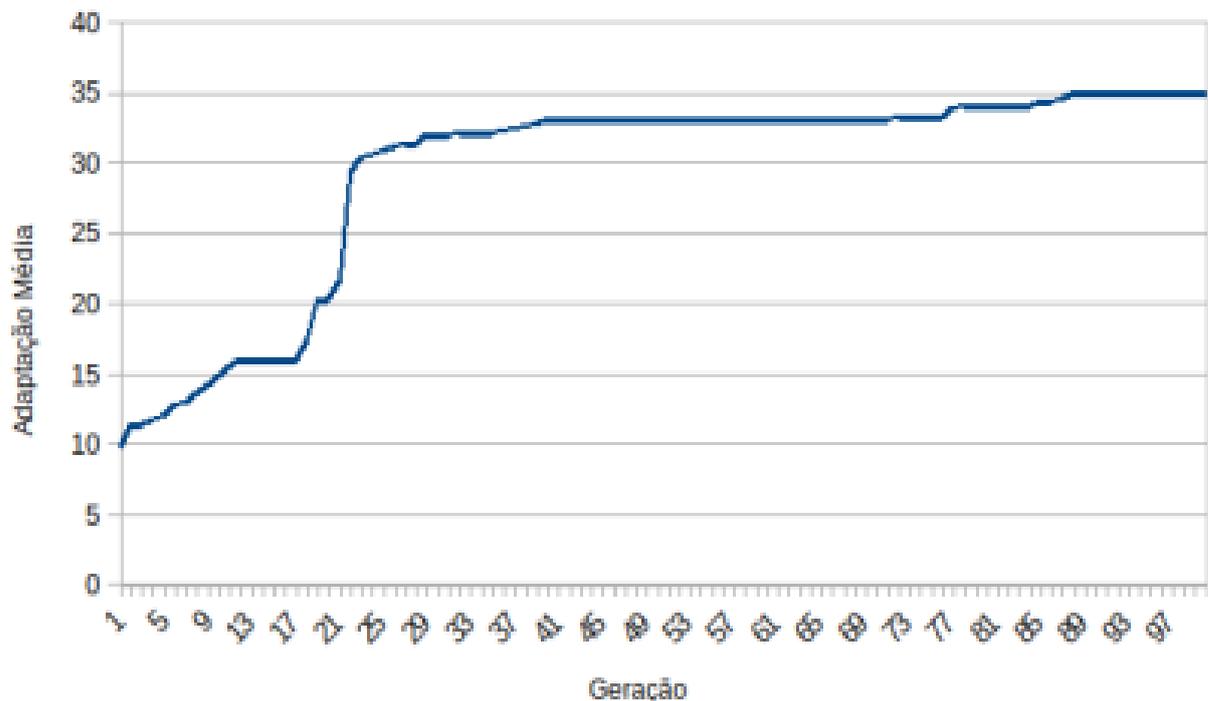
Nas simulações feitas foi considerado que o intervalo de normalidade da cifose é $[20,40]$ e da lordose é $[10,42]$. Para entender como o tempo de convergência do algoritmo genético implementado varia em função do número de fotos consideradas, assim como a evolução do ângulo da coluna para cada patologia, executou-se 100 simulações desse algoritmo com número de fotos variando de 2, 4, 6, 8 e 10. O valor dos ângulos e extraídos para das fotos para as simulações está listado na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Dados armazenados na base de dados do sistema

Foto	Cifose	Lordose
1	22,5	24,40
2	33,3	24,90
3	35,2	26,00
4	38,3	29,00
5	38,6	30,30
6	40,7	31,10
7	43,2	34,48
8	44,35	34,70
9	44,60	35,00
10	44,80	36,60

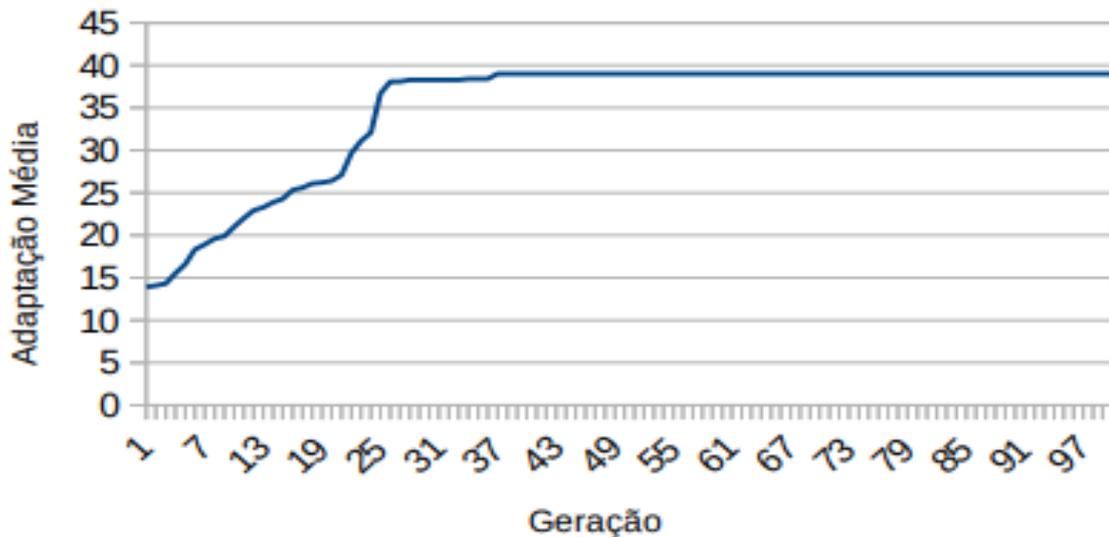
A Figura 4.7 mostra o diagrama da convergência do algoritmo e a Figura 4.8 previsão feita para uma possível ocorrência de cifose ou lordose, considerando que a taxa de crescimento dos ângulos está limitada pela média das taxas de crescimento obtidas entre 2 fotos da base de dados do sistema. Adaptação média nos diagramas de convergência é a somatória da adaptação de todos os indivíduos da população dividido pelo tamanho da população.

Figura 4.7 – Convergência com taxa limitada pela média e 2 fotos



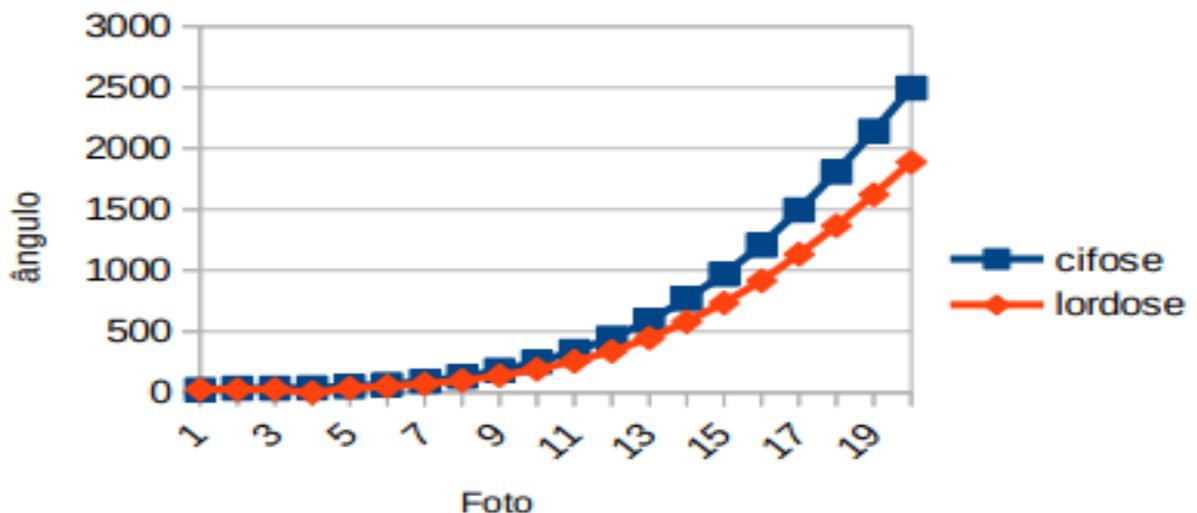
A Figura 4.9 mostra o diagrama da convergência do algoritmo e a Figura 4.10 previsão feita para uma possível ocorrência de cifose ou lordose, considerando que a taxa de crescimento dos ângulos está limitada pela média das taxas de crescimento obtidas entre quatro fotos da base de dados do sistema.

Figura 4.9 – Convergência com taxa limitada pela média e 4 fotos



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Figura 4.10 – Evolução dos ângulos com taxa limitada pela média e 4 fotos

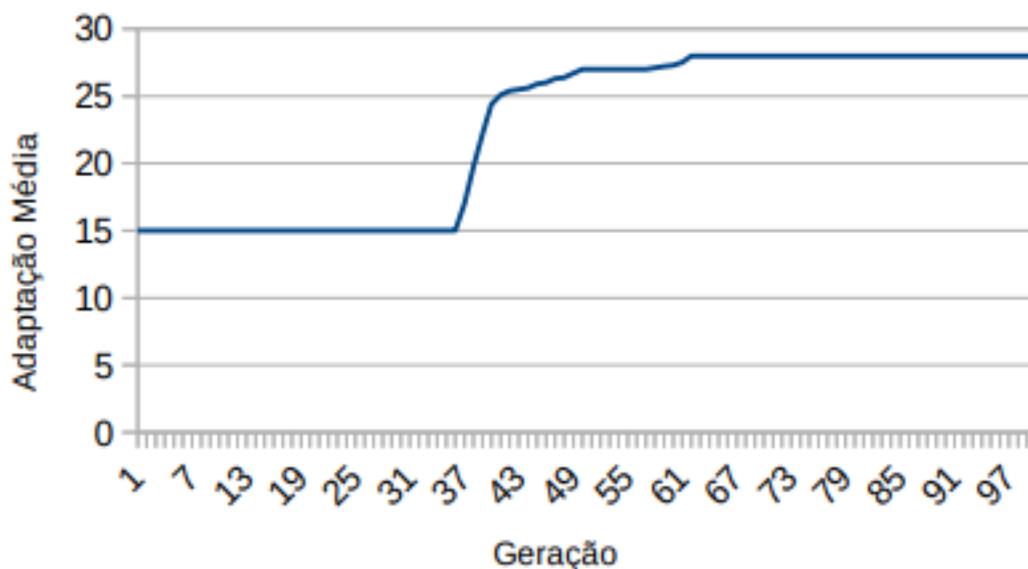


Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

A Figura 4.11 mostra o diagrama da convergência do algoritmo e a Figura 4.12 previsão feita para uma possível ocorrência de cifose ou lordose, considerando que a

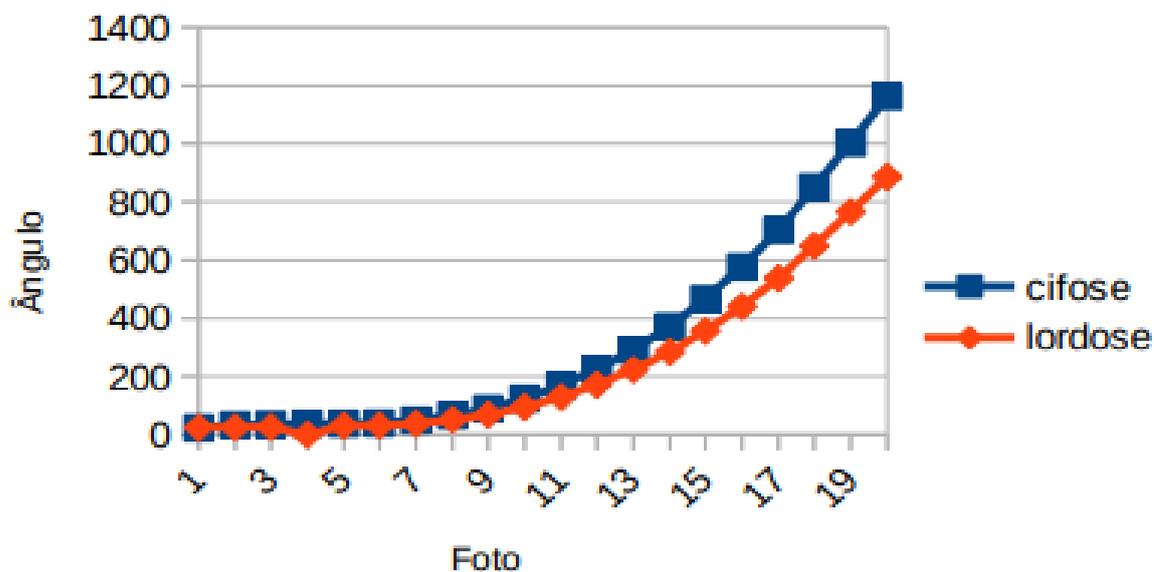
taxa de crescimento dos ângulos está limitada pela média das taxas de crescimento obtidas entre seis fotos da base de dados do sistema.

Figura 4.11 – Convergência com taxa limitada pela média e 6 fotos



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Figura 4.12 – Evolução dos ângulos, com taxa limitada pela média e 6 fotos

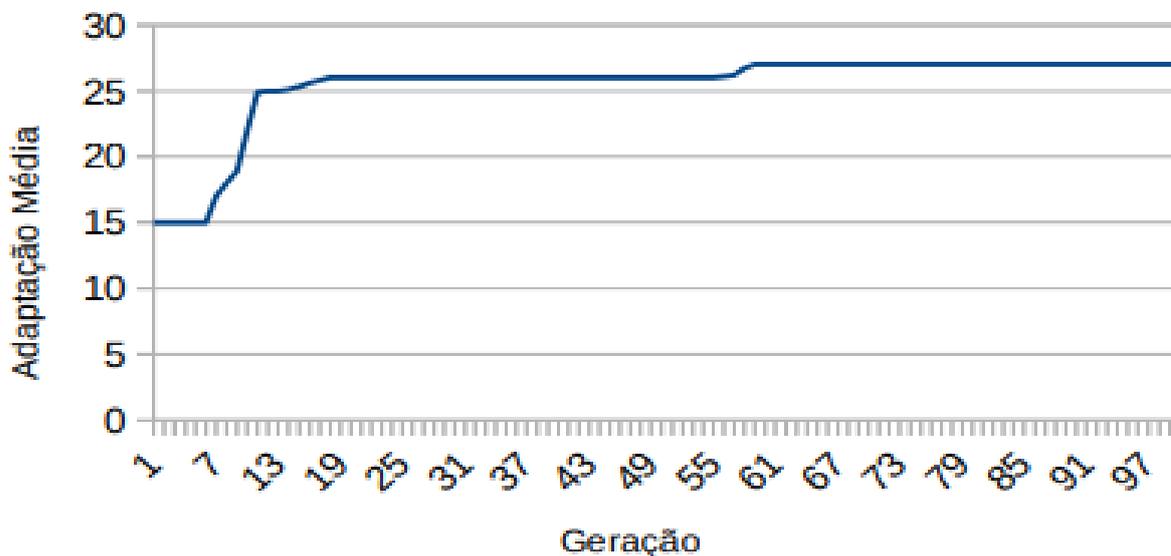


Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

A Figura 4.13 mostra o diagrama da convergência do algoritmo e a Figura 4.14 previsão feita para uma possível ocorrência de cifose ou lordose, considerando que a taxa de crescimento dos ângulos está limitada pela média das taxas de crescimento

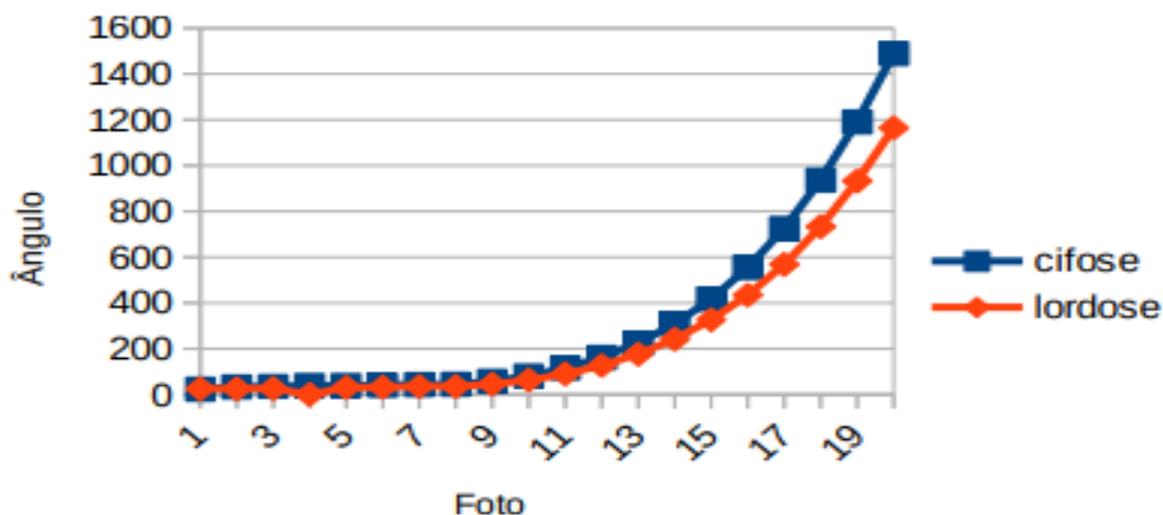
obtidas entre oito fotos da base de dados do sistema.

Figura 4.13 – Convergência com taxa limitada pela média e 8 fotos



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

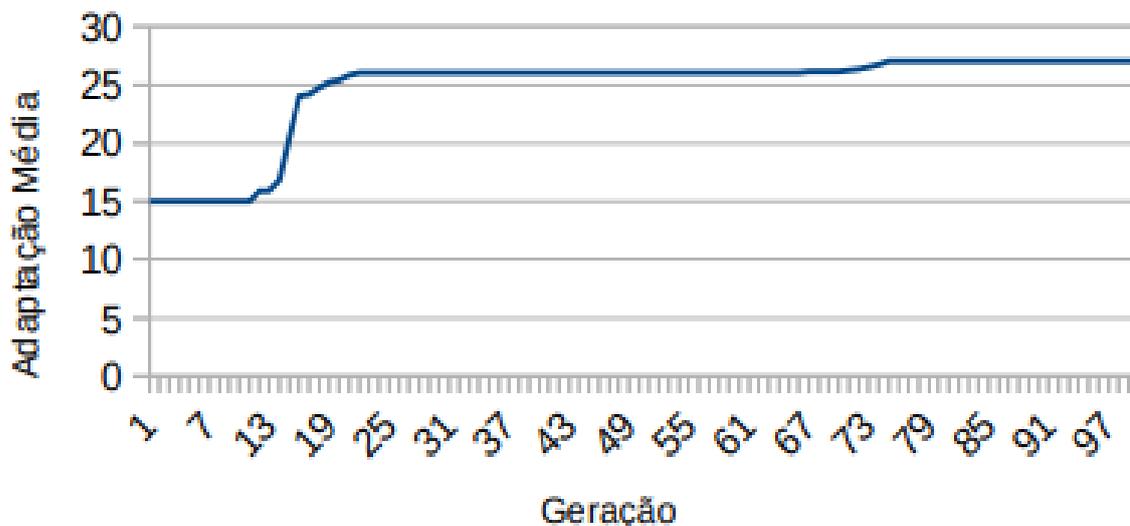
Figura 4.14 – Evolução dos ângulos, com taxa limitada pela média e 8 fotos



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

A Figura 4.15 mostra o diagrama da convergência do algoritmo e a Figura 4.16 previsão feita para uma possível ocorrência de cifose ou lordose, considerando que a taxa de crescimento dos ângulos está limitada pela média das taxas de crescimento obtidas entre dez fotos da base de dados do sistema.

Figura 4.15 – Convergência com taxa limitada pela média e 10 fotos



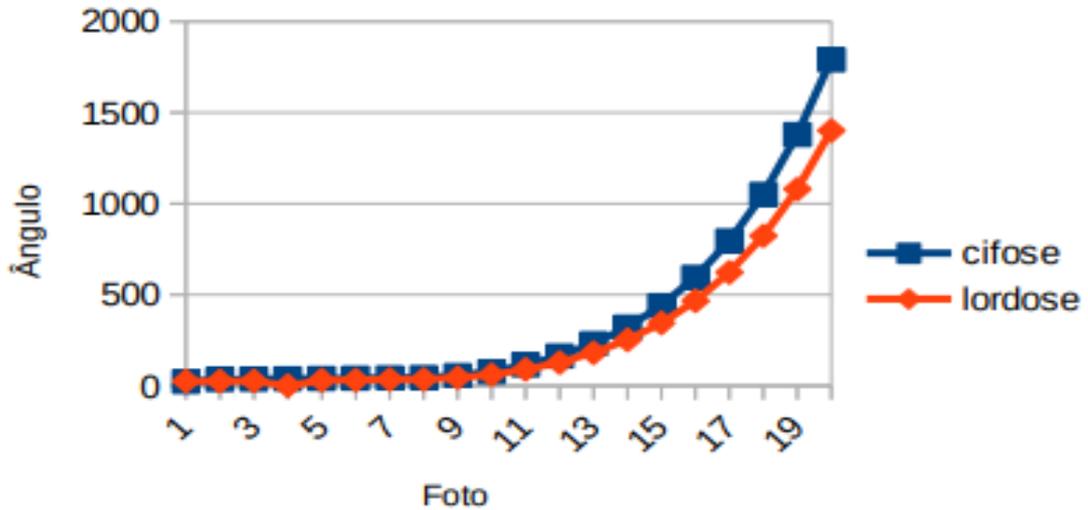
Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Como pode ser percebido nos dados da Tabela 4.1 o paciente em análise estava apresentando uma alteração de seu ângulo tanto da cifose como da lordose. O sistema de previsão potencializou essa alteração, considerando que a máxima alteração permitida nos ângulos da coluna esta limitada a média dos ângulos extraídos das fotos para cada problema de coluna, o algoritmo de previsão convergiu para uma situação crítica no máximo após 50 gerações. Como cada coluna do vetor indivíduo irá corresponder a uma foto, então o sistema considerará os dados das cinco colunas após os dados das fotos fornecidas para fazer sua recomendação ao paciente de procurar um profissional de saúde. No caso das execuções acima o sistema fará o seguinte aconselhamento:

- para a simulação da Figura 4.7 – após 5 meses o paciente já estará com 12 medidas fora do padrão, e o sistema irá sugerir que ele procure o profissional da área de saúde;
- para a simulação da Figura 4.9 e 4.11 – após 5 meses o paciente já estará com 15 medidas fora do padrão, e o sistema irá sugerir que ele procure o profissional da área de saúde;
- para a simulação da Figura 4.13 – após 5 meses o paciente já estará com 17 medidas fora do padrão, e o sistema irá sugerir que ele procure o profissional da área de saúde;
- para a simulação da Figura 4.15 – após 5 meses o paciente já estará com 13 medidas fora do padrão, e o sistema irá sugerir que ele procure o profissional

da área de saúde.

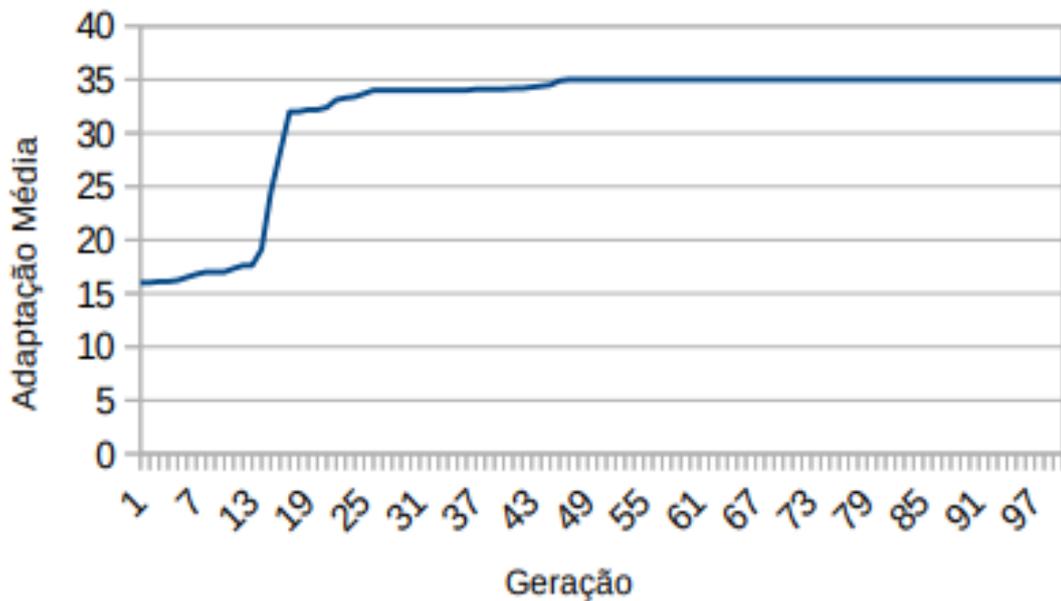
Figura 4.16 – Evolução dos ângulos, com taxa limitada pela média e 10 fotos



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

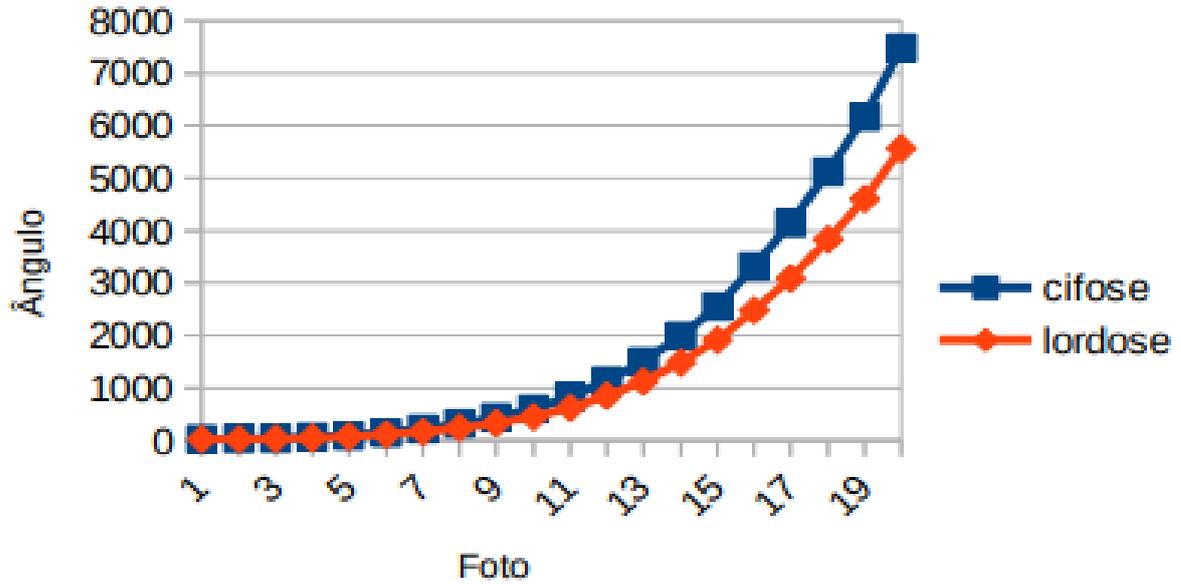
A Figura 4.17 mostra o diagrama da convergência do algoritmo e a Figura 4.18 previsão feita para uma possível ocorrência de cifose ou lordose, considerando que a taxa de crescimento dos ângulos está limitada pelo menor valor entre as taxas de crescimento obtidas entre 2 fotos da base de dados do sistema.

Figura 4.17 – Convergência com taxa limitada pelo menor valor e 2 fotos



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

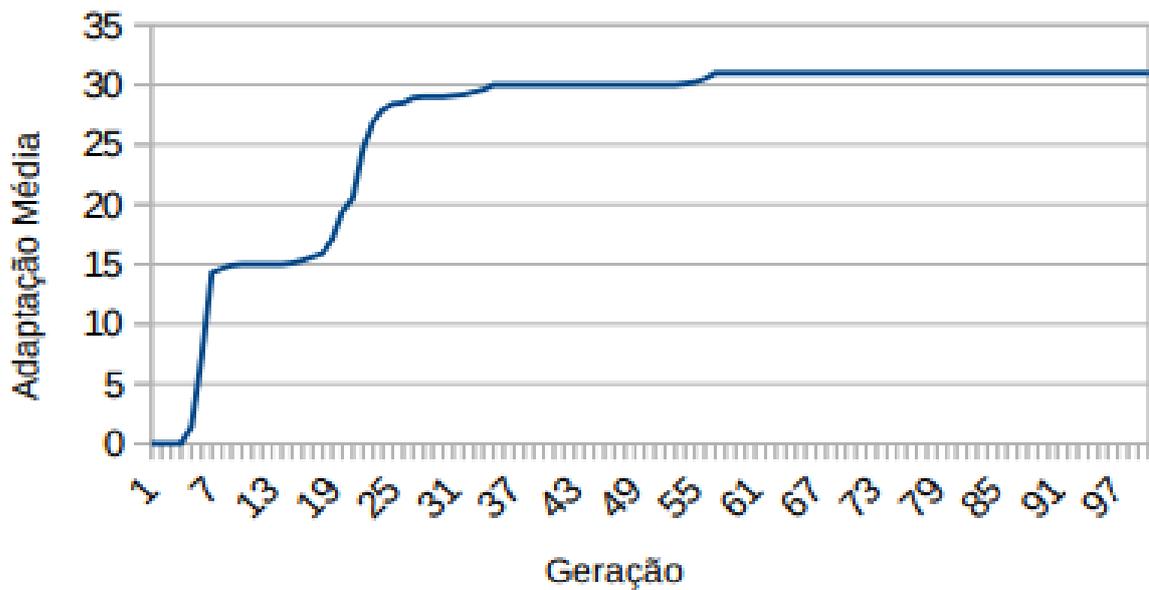
Figura 4.18 – Evolução dos ângulos com taxa limitada pelo menor valor e 2 fotos



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

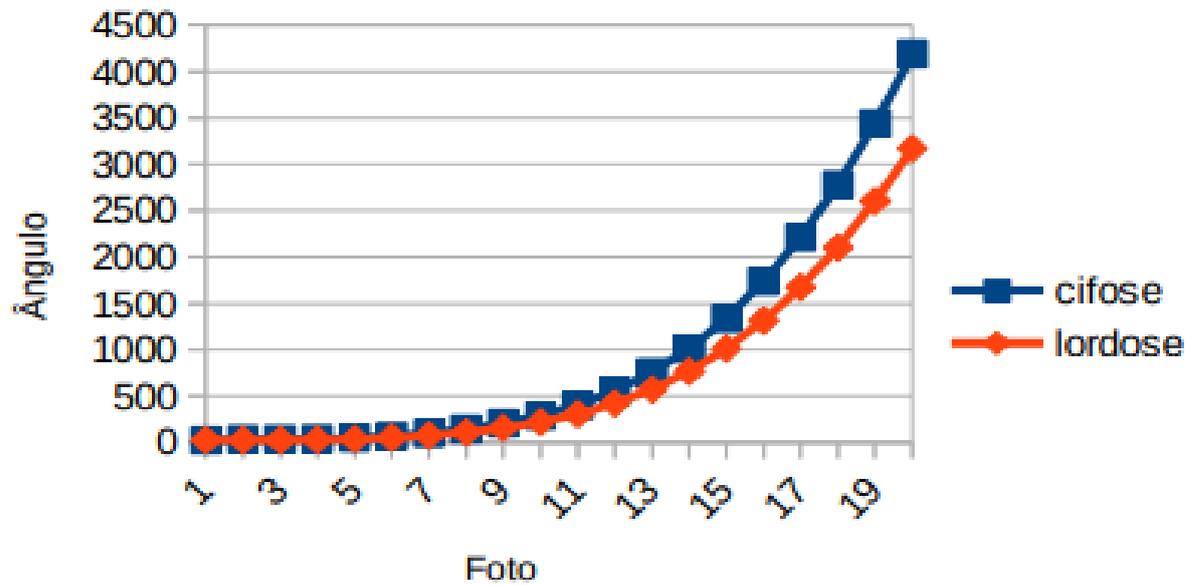
A Figura 4.19 mostra o diagrama da convergência do algoritmo e a Figura 4.20 previsão feita para uma possível ocorrência de cifose ou lordose, considerando que a taxa de crescimento dos ângulos está limitada pelo menor valor entre as taxas de crescimento obtidas entre quatro fotos da base de dados do sistema.

Figura 4.19 – Convergência com taxa limitada pelo menor valor e 4 fotos



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

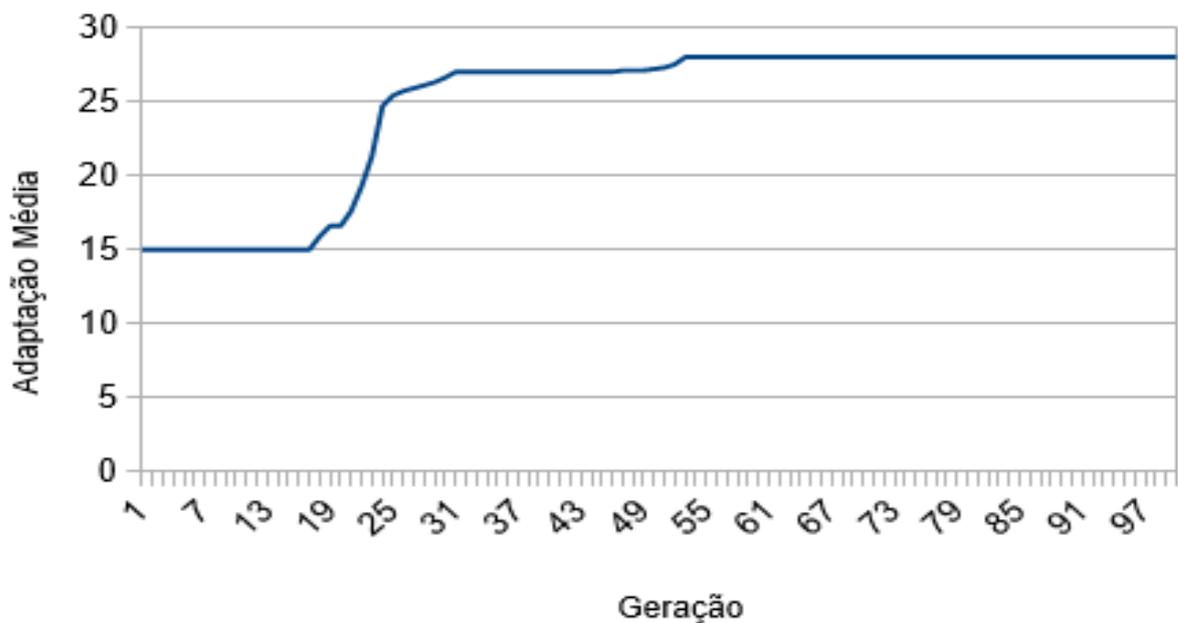
Figura 4.20 – Evolução dos ângulos com taxa limitada pelo menor valor e 4 fotos



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

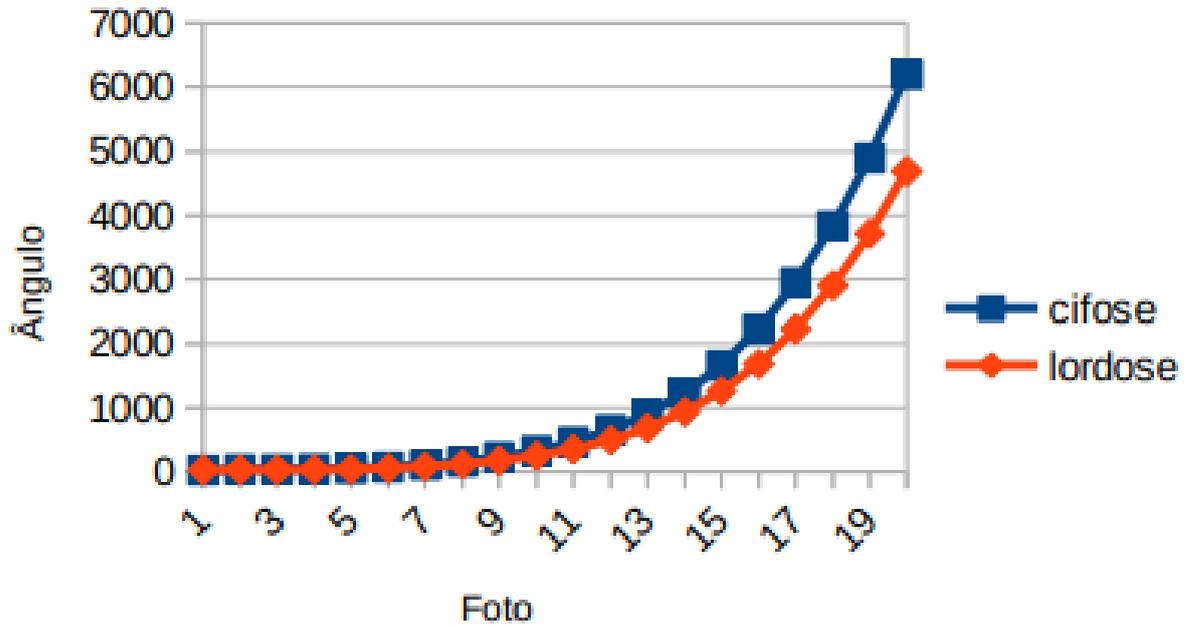
A Figura 4.21 mostra o diagrama da convergência do algoritmo e a Figura 4.22 previsão feita para uma possível ocorrência de cifose ou lordose, considerando que a taxa de crescimento dos ângulos está limitada pelo menor valor entre as taxas de crescimento obtidas entre seis fotos da base de dados do sistema.

Figura 4.21 – Convergência com taxa limitada pelo menor valor e 6 fotos



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

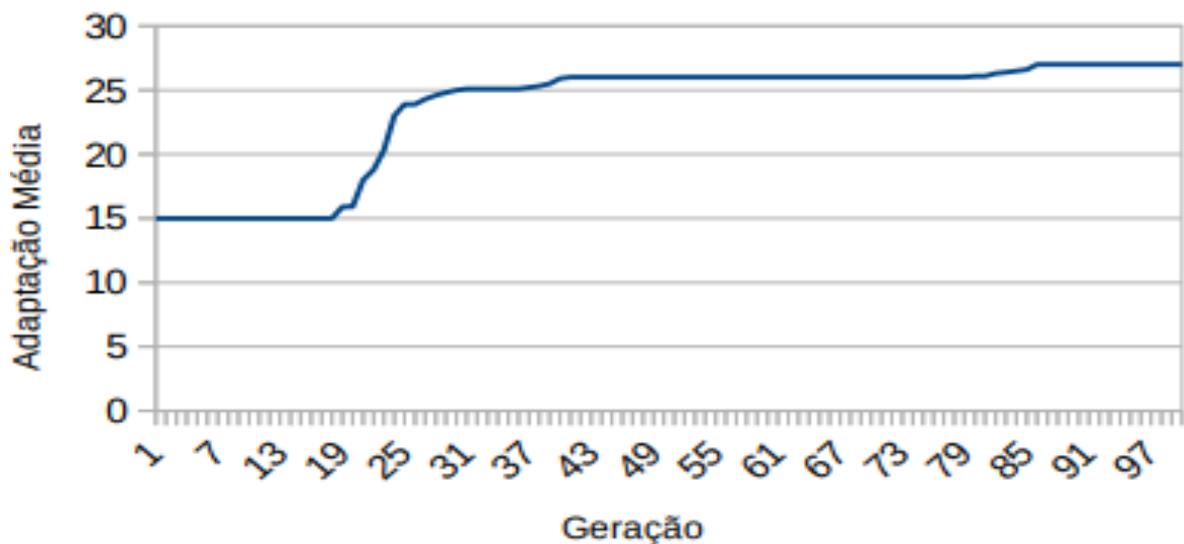
Figura 4.22 – Evolução dos ângulos com taxa limitada pelo menor valor e 6 fotos



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

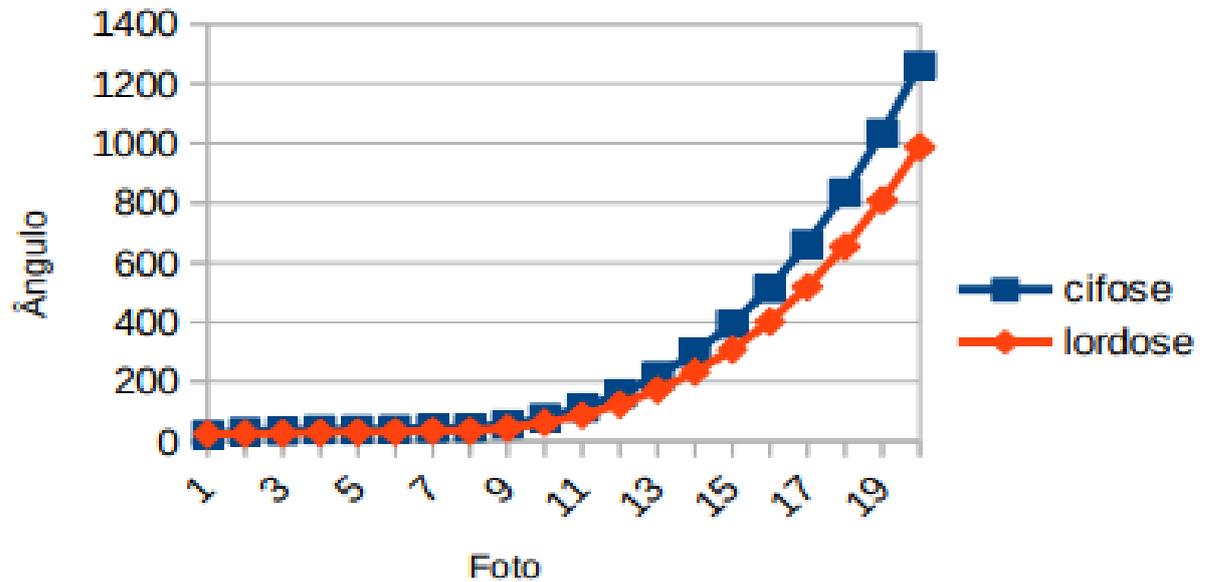
A Figura 4.23 mostra o diagrama da convergência do algoritmo e a Figura 4.24 previsão feita para uma possível ocorrência de cifose ou lordose, considerando que a taxa de crescimento dos ângulos está limitada pelo menor valor entre as taxas de crescimento obtidas entre oito fotos da base de dados do sistema.

Figura 4.23 – Convergência com taxa limitada pelo menor valor e 8 fotos



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

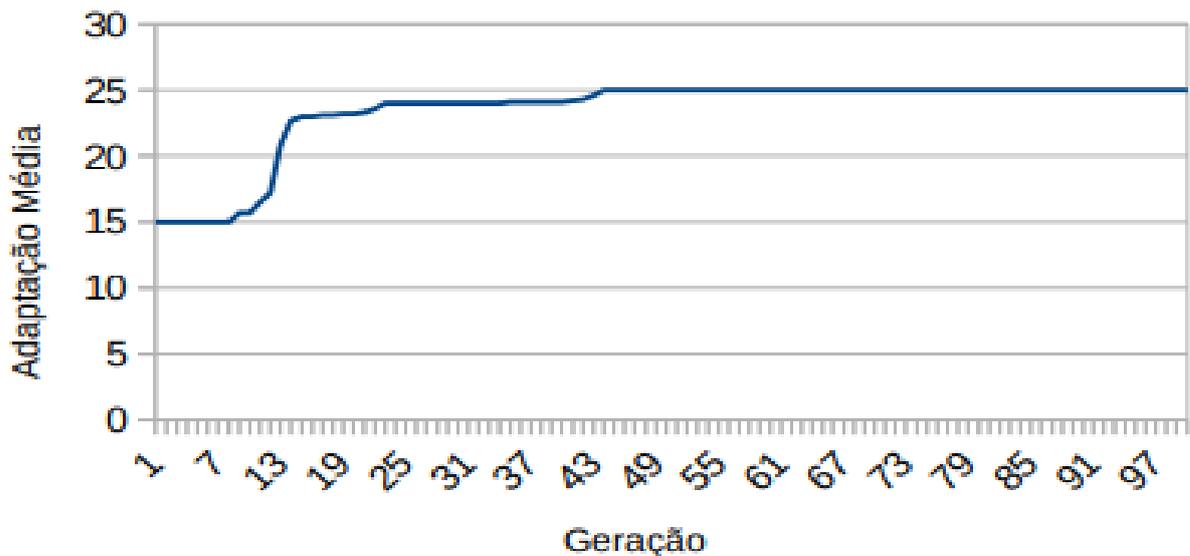
Figura 4.24 – Evolução dos ângulos com taxa limitada pelo menor valor e 8 fotos



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

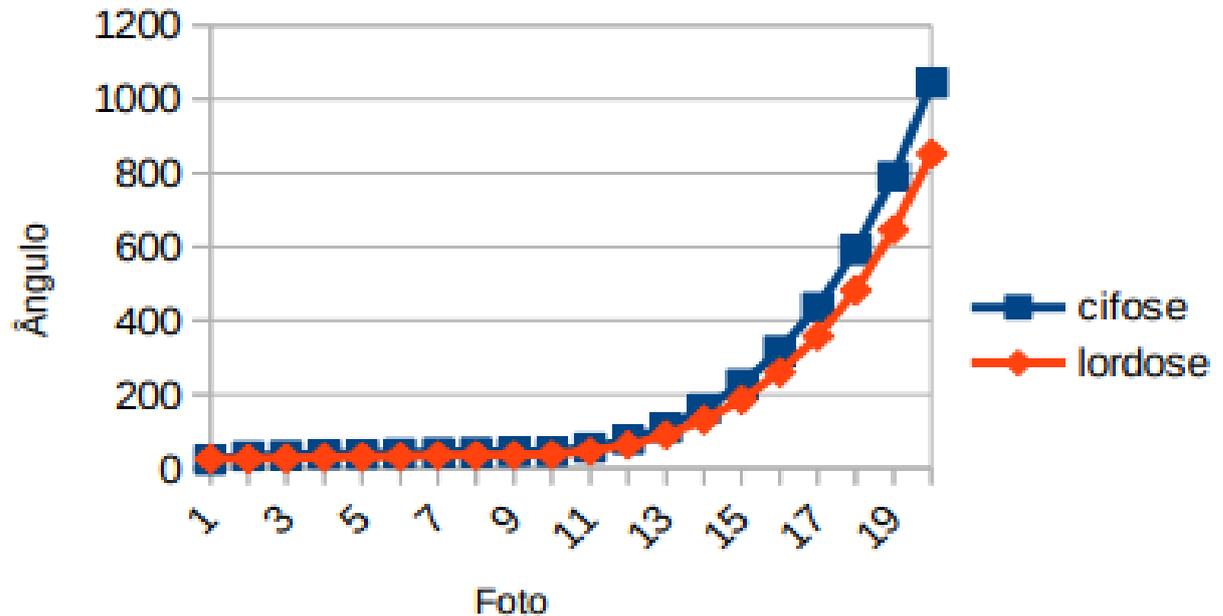
A Figura 4.25 mostra o diagrama da convergência do algoritmo e a Figura 4.26 previsão feita para uma possível ocorrência de cifose ou lordose, considerando que a taxa de crescimento dos ângulos está limitada pelo menor valor entre as taxas de crescimento obtidas entre dez fotos da base de dados do sistema.

Figura 4.25 – Convergência com taxa limitada pelo menor valor e 10 fotos



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Figura 4.26 – Evolução dos ângulos, com taxa limitada pelo menor valor e 10 fotos



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

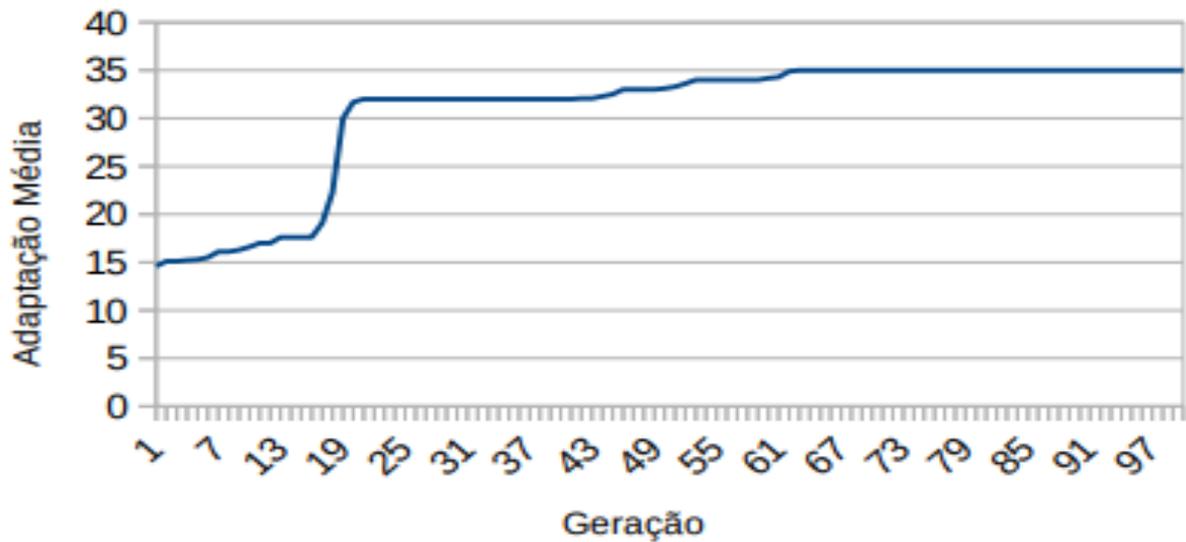
Considerando que a máxima alteração permitida nos ângulos da coluna esta limitada ao menor valor de alteração dos ângulos extraídos das fotos para cada problema de coluna, o algoritmo de previsão convergiu para uma situação crítica no máximo após 86 gerações. Como cada coluna do vetor indivíduo corresponderá a uma foto, então o sistema considerará os dados das cinco colunas após os dados das fotos fornecidas para fazer sua recomendação ao paciente de procurar um profissional de saúde. No caso das execuções acima o sistema fará o seguinte aconselhamento:

- para a simulação da Figura 4.17 – após 5 meses o paciente já estará com 16 medidas fora do padrão, e o sistema irá sugerir que ele procure o profissional da área de saúde;
- para a simulação da Figura 4.19 – após 5 meses o paciente já estará com 14 medidas fora do padrão, e o sistema irá sugerir que ele procure o profissional da área de saúde;
- para a simulação da Figura 4.21 – após 5 meses o paciente já estará com 11 medidas fora do padrão, e o sistema irá sugerir que ele procure o profissional da área de saúde;
- para a simulação da Figura 4.23 – após 5 meses o paciente já estará com 15 medidas fora do padrão, e o sistema irá sugerir que ele procure o profissional da área de saúde;

- para a simulação da Figura 4.25 – após 5 meses o paciente já estará com 23 medidas fora do padrão, e o sistema irá sugerir que ele procure o profissional da área de saúde.

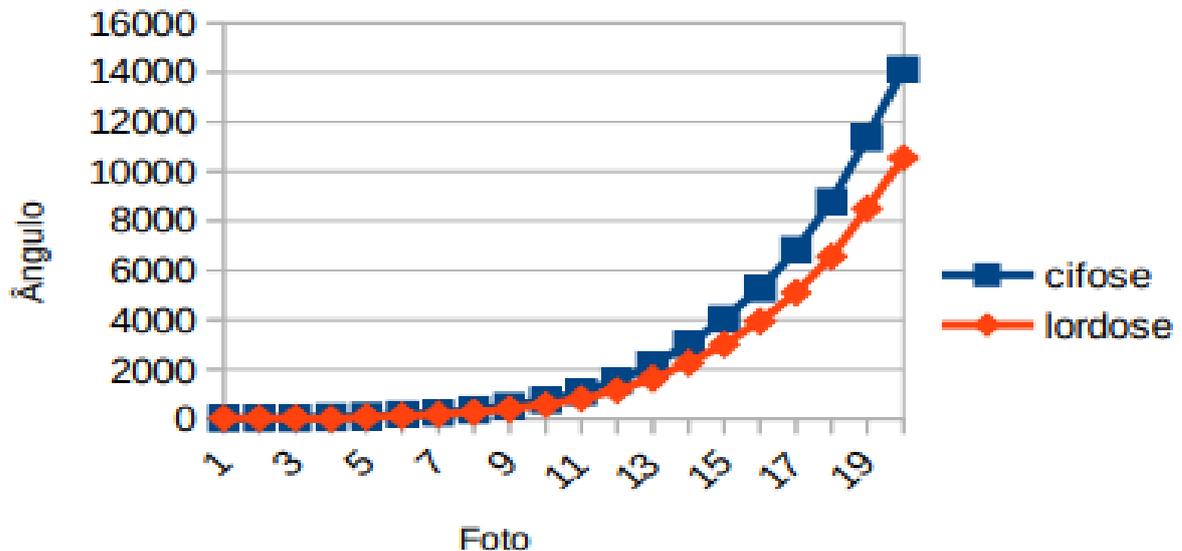
A Figura 4.27 mostra o diagrama da convergência do algoritmo e a Figura 4.28 previsão feita para uma possível ocorrência de cifose ou lordose, considerando que a taxa de crescimento dos ângulos está limitada pelo maior valor entre as taxas de crescimento obtidas entre 2 fotos da base de dados do sistema.

Figura 4.27 – Convergência com taxa limitada pelo maior valor e 2 fotos



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

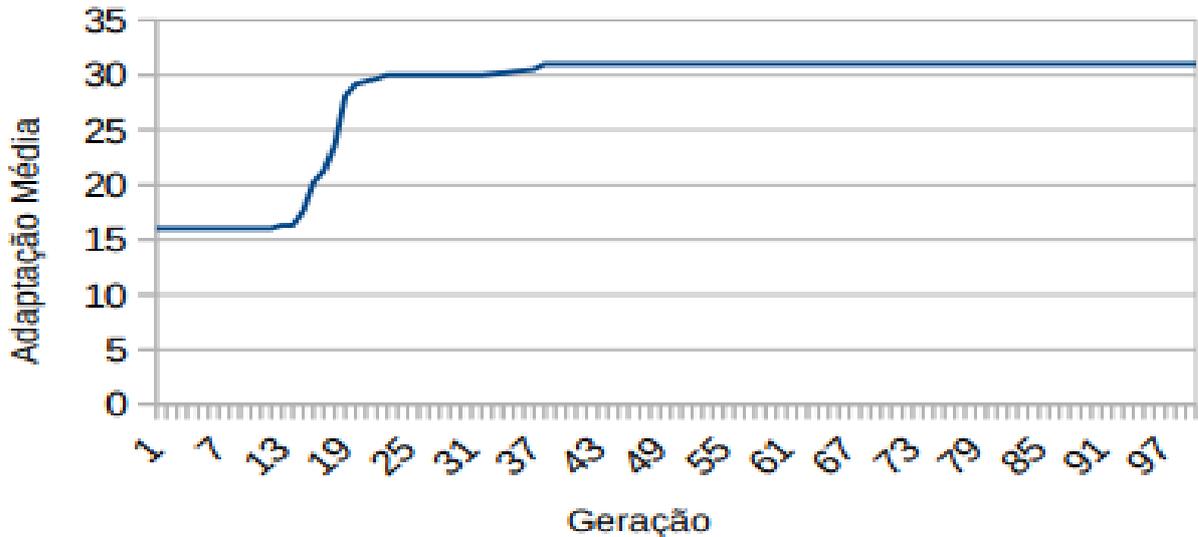
Figura 4.28 – Evolução dos ângulos com taxa limitada pelo maior valor e 2 fotos



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

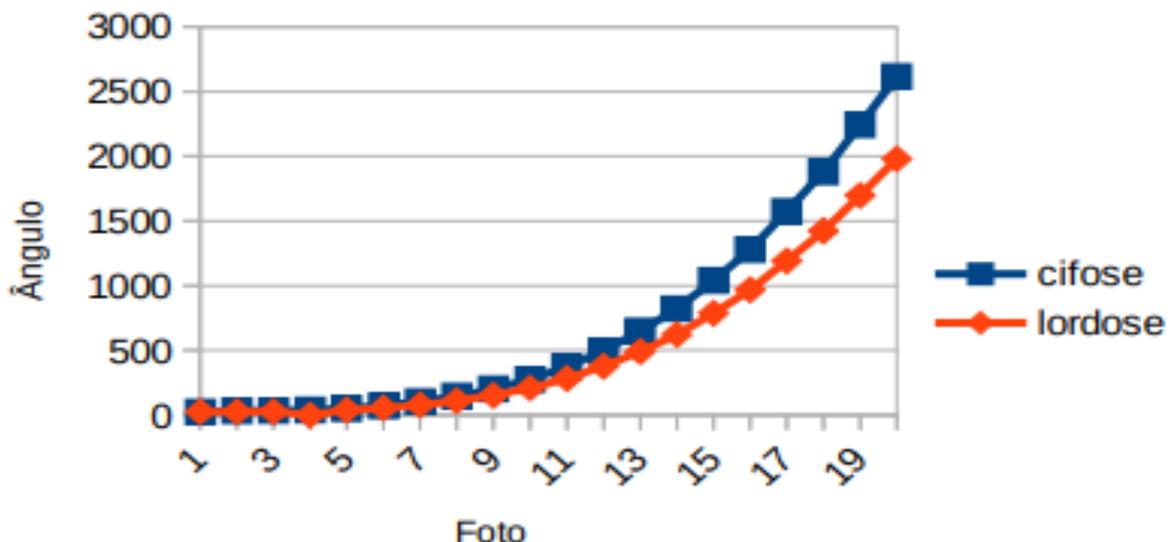
A Figura 4.29 mostra o diagrama da convergência do algoritmo e a Figura 4.30 previsão feita para uma possível ocorrência de cifose ou lordose, considerando que a taxa de crescimento dos ângulos está limitada pelo maior valor entre as taxas de crescimento obtidas entre quatro fotos da base de dados do sistema.

Figura 4.29 – Convergência com taxa limitada pelo maior valor e 4 fotos



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Figura 4.30 – Evolução dos ângulos com taxa limitada pelo maior valor e 4 fotos

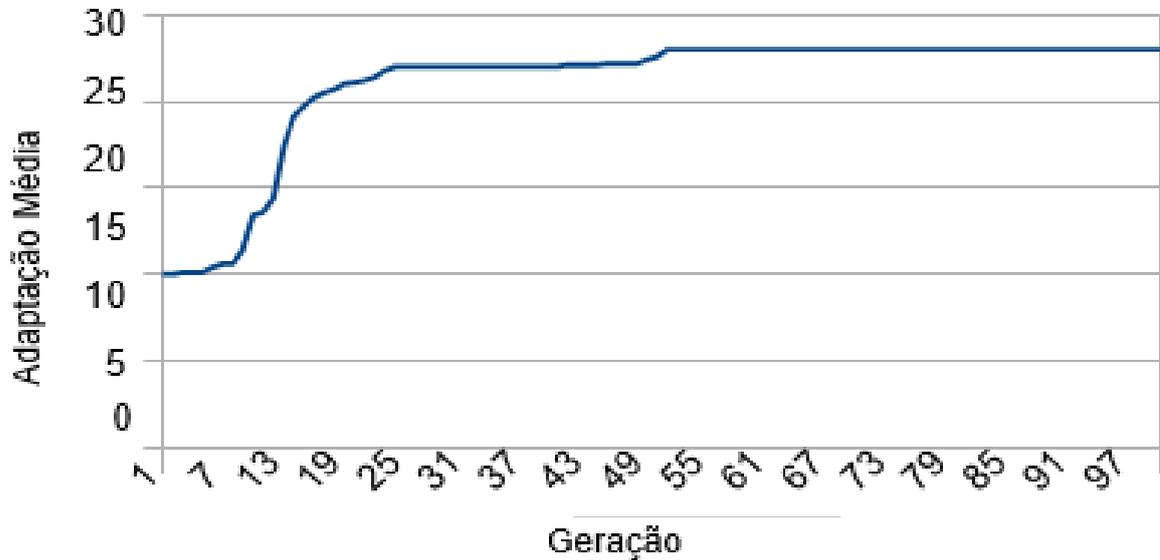


Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

A Figura 4.31 mostra o diagrama da convergência do algoritmo e a Figura 4.32 previsão feita para uma possível ocorrência de cifose ou lordose, considerando que a

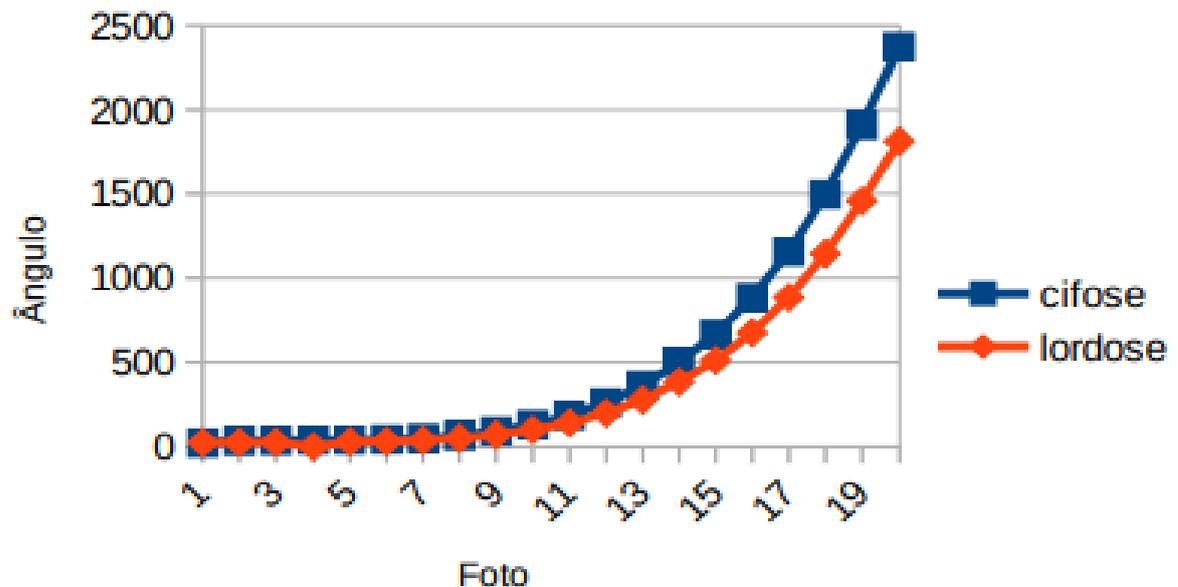
taxa de crescimento dos ângulos está limitada pelo maior valor entre as taxas de crescimento obtidas entre seis fotos da base de dados do sistema.

Figura 4.31 – Convergência com taxa limitada pelo maior valor e 6 fotos



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Figura 4.32 – Evolução dos ângulos com taxa limitada pelo maior valor e 6 fotos

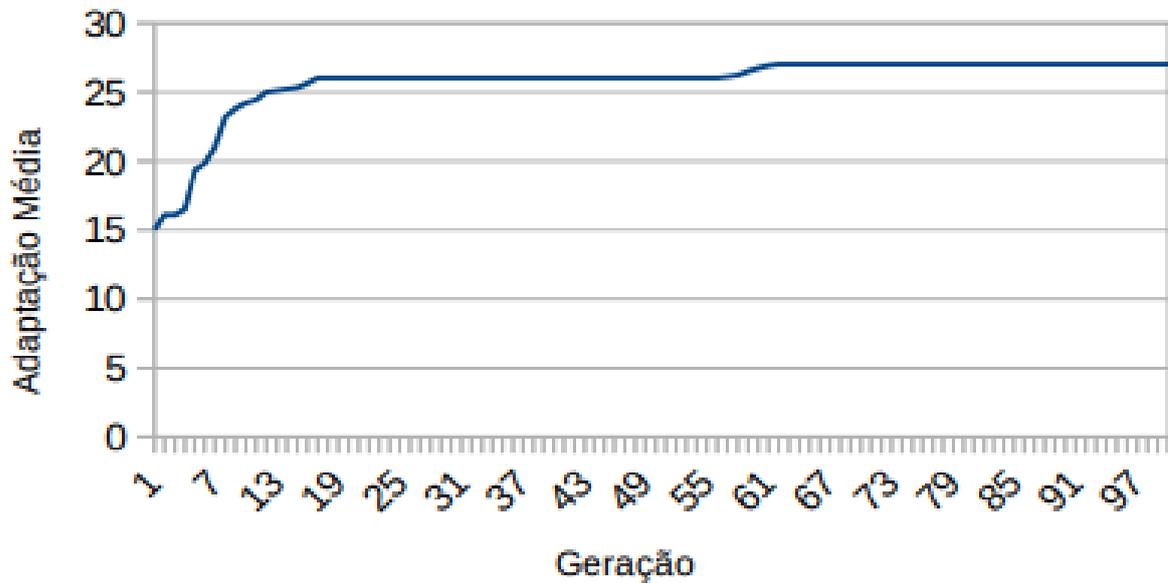


Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

A Figura 4.33 mostra o diagrama da convergência do algoritmo e a Figura 4.34 previsão feita para uma possível ocorrência de cifose ou lordose, considerando que a

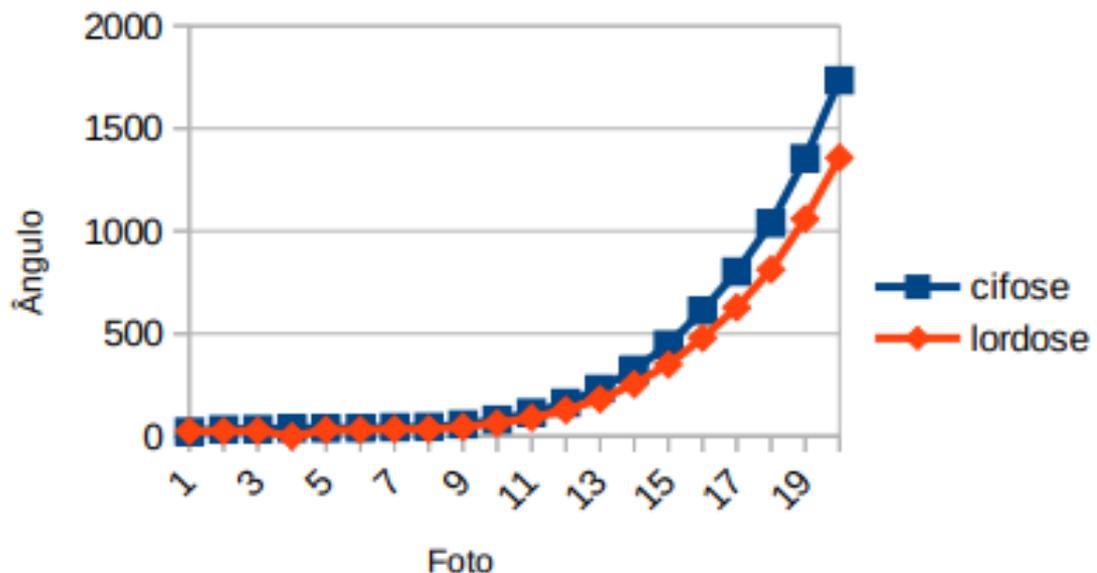
taxa de crescimento dos ângulos está limitada pelo maior valor entre as taxas de crescimento obtidas entre oito fotos da base de dados do sistema.

Figura 4.33 – Convergência com taxa limitada pelo maior valor e 8 fotos



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Figura 4.34 – Evolução dos ângulos com taxa limitada pelo maior valor e 8 fotos

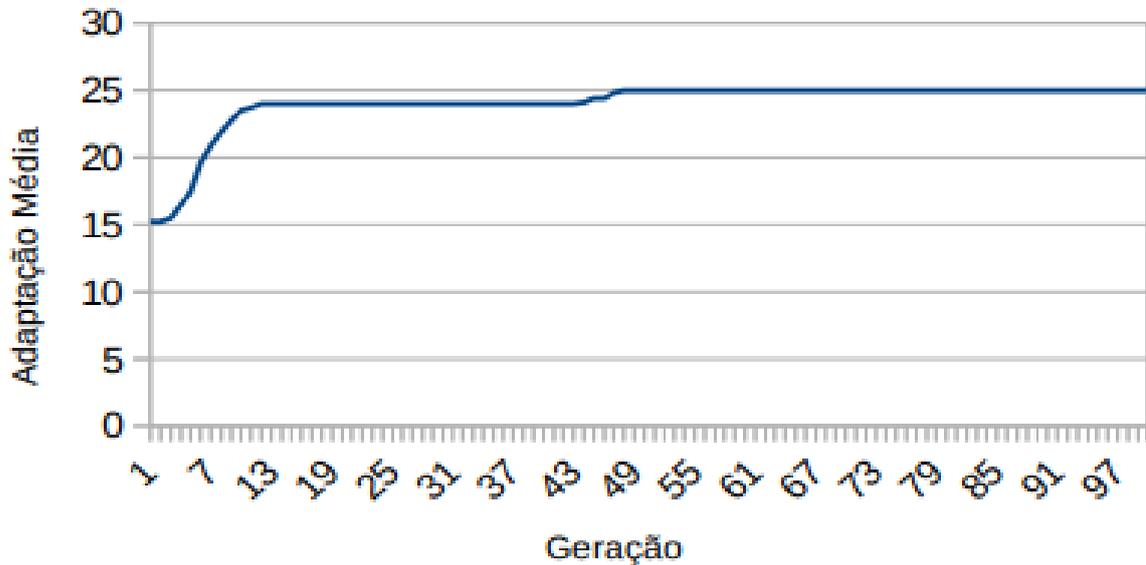


Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Figura 4.35 mostra o diagrama da convergência do algoritmo e a Figura 4.36 previsão feita para uma possível ocorrência de cifose ou lordose, considerando que a

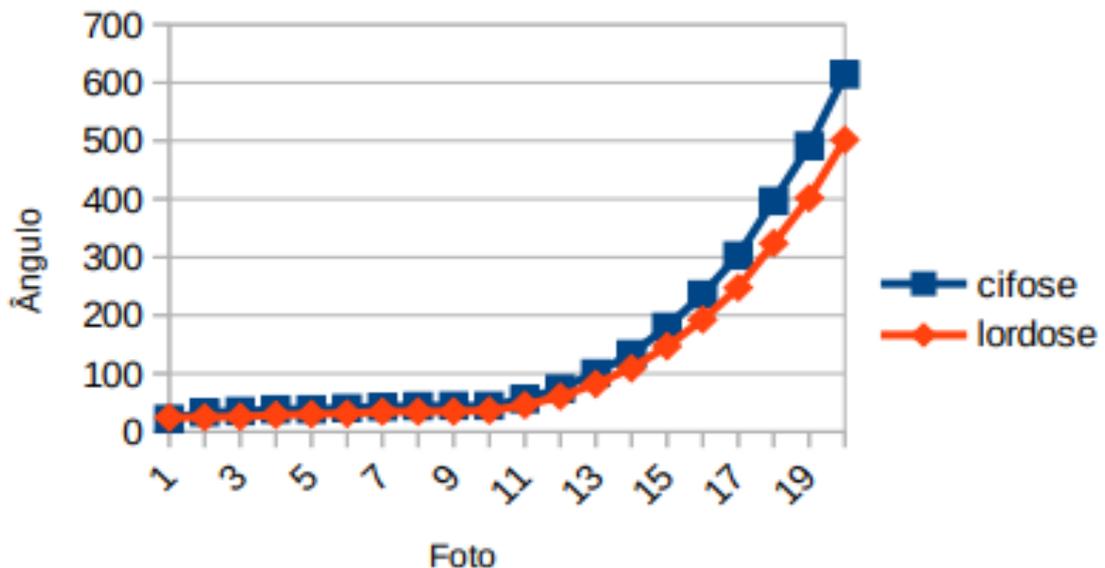
taxa de crescimento dos ângulos está limitada pelo maior valor entre as taxas de crescimento obtidas entre dez fotos da base de dados do sistema.

Figura 4.35 – Convergência com taxa limitada pelo maior valor e 10 fotos



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Figura 4.36 – Evolução dos ângulos, com taxa limitada pelo maior valor e 10 fotos



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Considerando que a máxima alteração permitida nos ângulos da coluna esta limitada ao maior valor de alteração dos ângulos extraídos das fotos para cada problema de coluna, o algoritmo de previsão convergiu para uma situação crítica no máximo após 63 gerações. Como cada coluna do vetor indivíduo corresponderá a uma

foto, então o sistema considerará os dados das cinco colunas após os dados das fotos fornecidas para fazer sua recomendação ao paciente de procurar um profissional de saúde. No caso das execuções acima o sistema fará o seguinte aconselhamento:

- para a simulação da Figura 4.25 – após 5 meses o paciente já estará com 16 medidas fora do padrão, e o sistema irá sugerir que ele procure o profissional da área de saúde;
- para a simulação da Figura 4.29 – após 5 meses o paciente já estará com 16 medidas fora do padrão, e o sistema irá sugerir que ele procure o profissional da área de saúde;
- para a simulação da Figura 4.31 – após 5 meses o paciente já estará com 18 medidas fora do padrão, e o sistema irá sugerir que ele procure o profissional da área de saúde;
- para a simulação da Figura 4.33 – após 5 meses o paciente já estará com 25 medidas fora do padrão, e o sistema irá sugerir que ele procure o profissional da área de saúde;
- para a simulação da Figura 4.35 – após 5 meses o paciente já estará com 24 medidas fora do padrão, e o sistema irá sugerir que ele procure o profissional da área de saúde.

A Figura 4.37 mostra o diagrama da convergência do algoritmo e a Figura 4.38 previsão feita para uma possível ocorrência de cifose ou lordose, considerando que a taxa de crescimento dos ângulos está limitada pela média das taxas de crescimento obtidas desprezando o menor valor de ângulo entre 2 fotos da base de dados do sistema.

Figura 4.37 – Convergência com taxa limitada pela média desprezando o menor valor e 2 fotos.

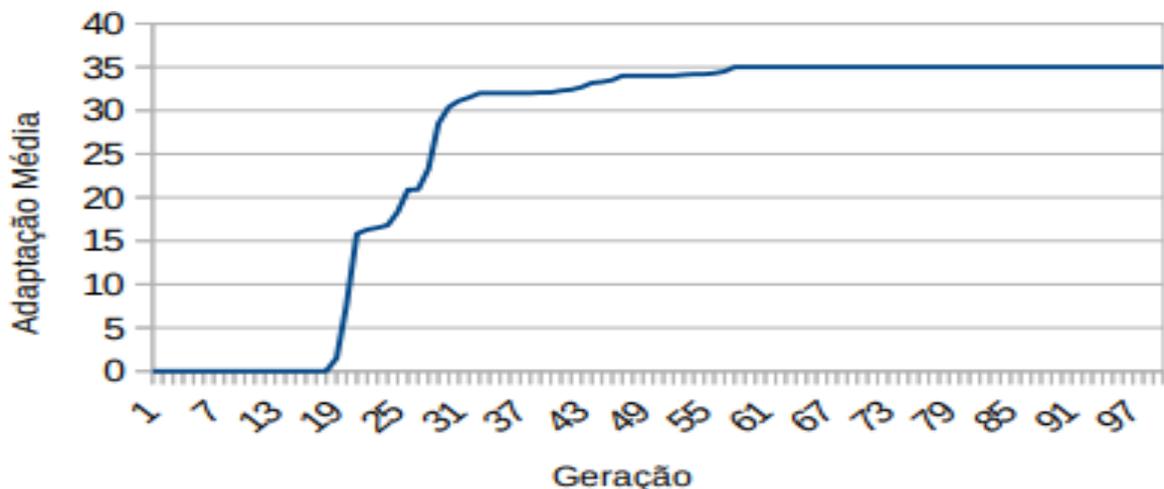
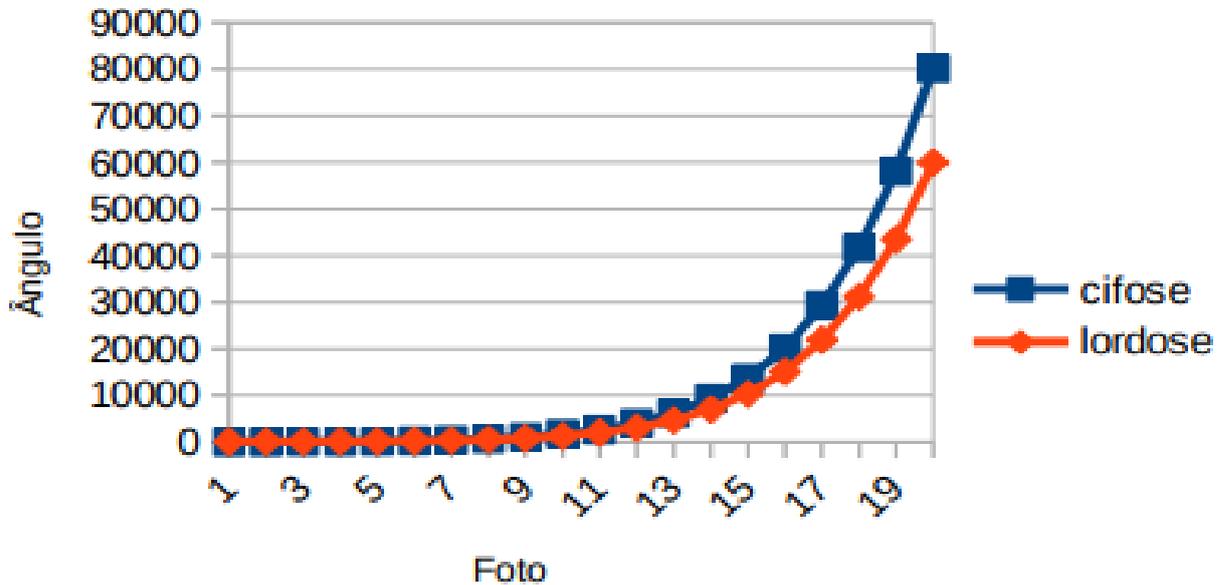


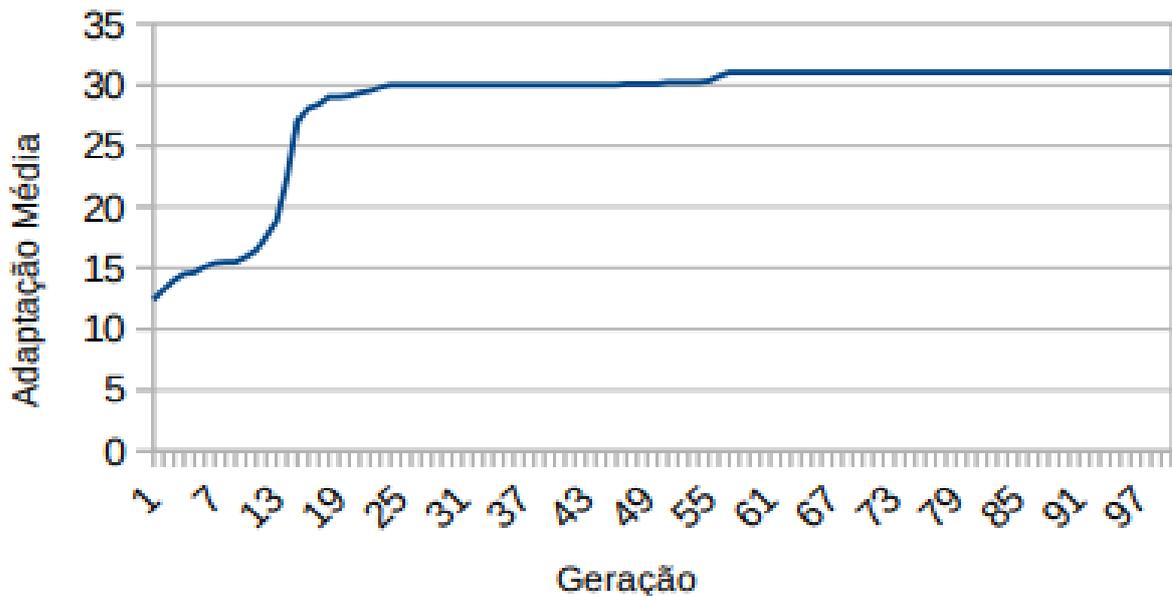
Figura 4.38 – Evolução dos ângulos com taxa limitada pela média desprezando o menor valor e 2 fotos.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

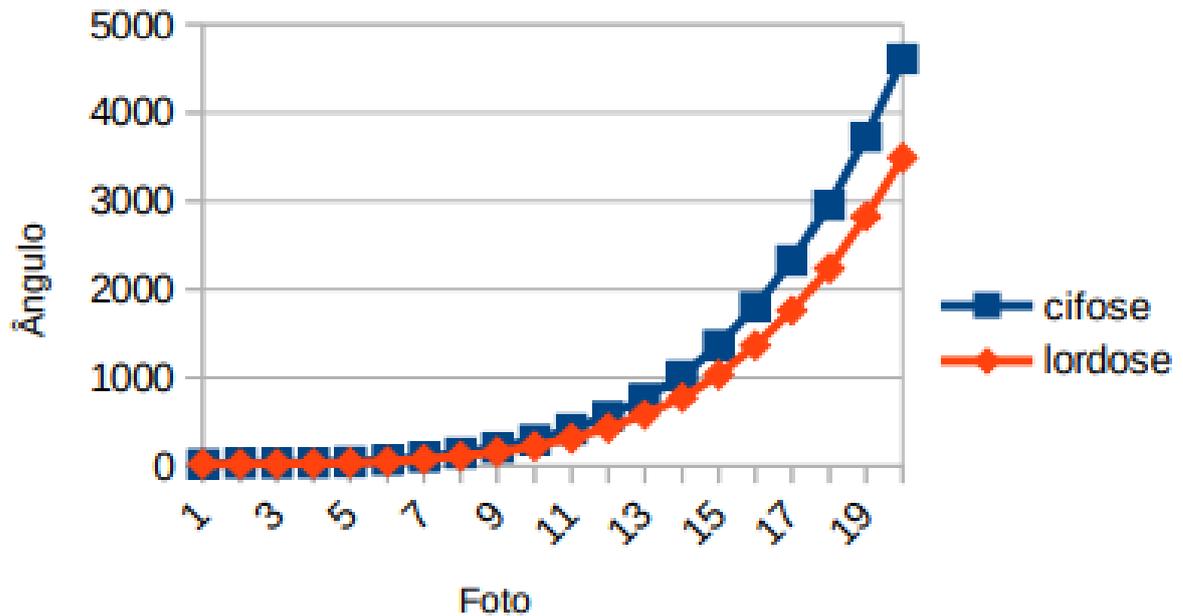
A Figura 4.39 mostra o diagrama da convergência do algoritmo e a Figura 4.40 previsão feita para uma possível ocorrência de cifose ou lordose, considerando que a taxa de crescimento dos ângulos está limitada pela média das taxas de crescimento obtidas desprezando o menor valor entre quatro fotos da base de dados do sistema.

Figura 4.39 – Convergência com taxa limitada pela média desprezando o menor valor e 4 fotos.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

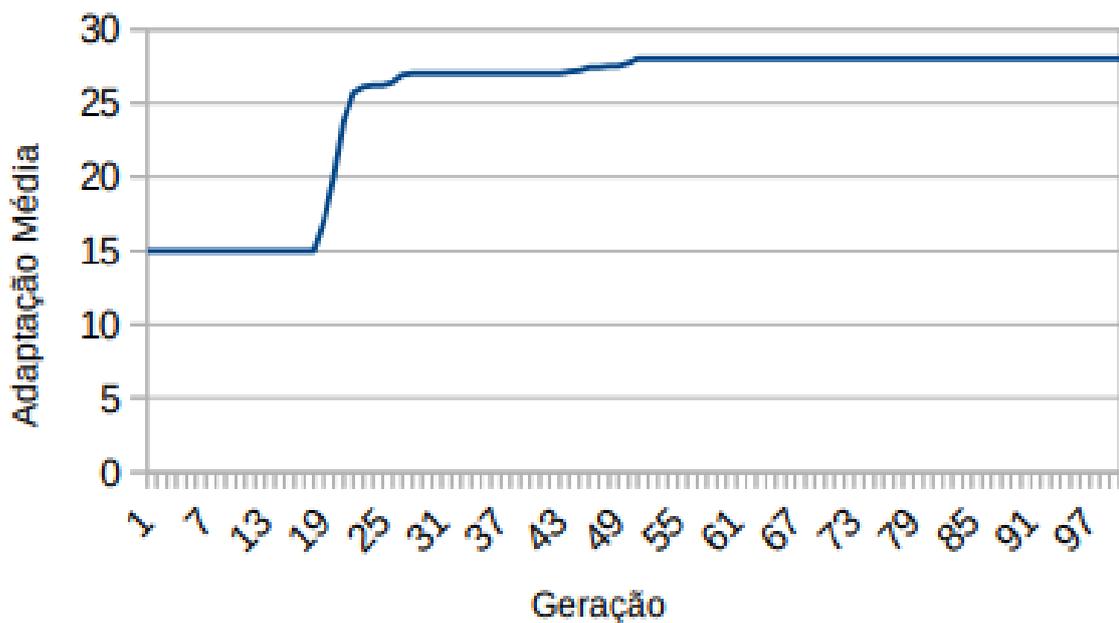
Figura 4.40 – Evolução dos ângulos com taxa limitada pela média desprezando o menor valor e 4 fotos.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

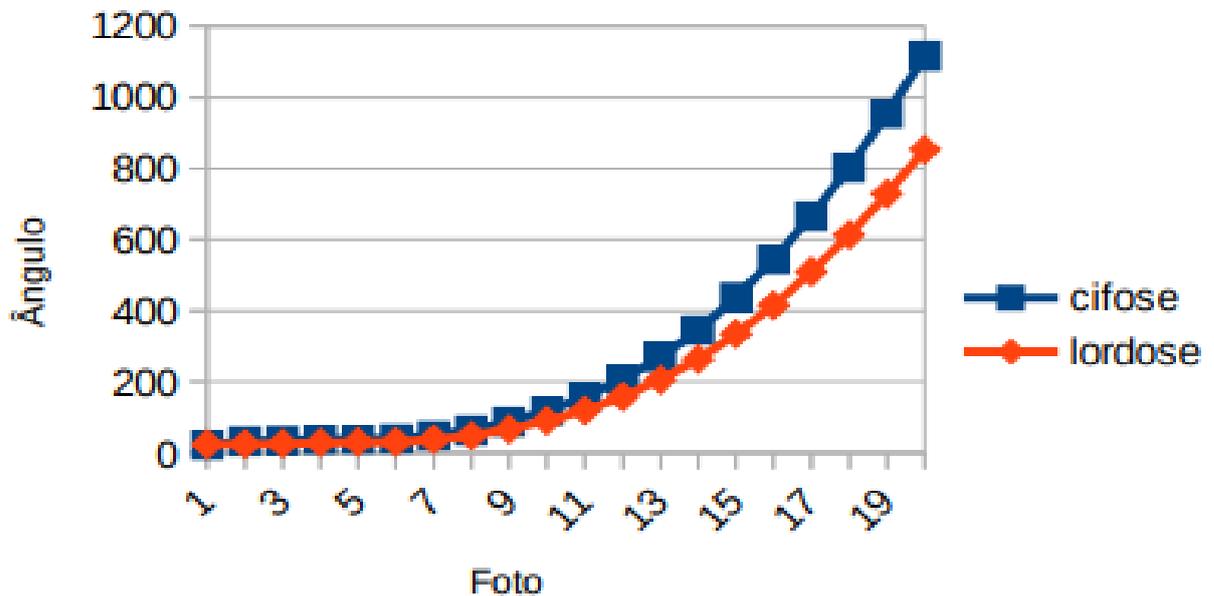
A Figura 4.41 mostra o diagrama da convergência do algoritmo e a Figura 4.42 previsão feita para uma possível ocorrência de cifose ou lordose, considerando que a taxa de crescimento dos ângulos está limitada pela média das taxas de crescimento obtidas desprezando o menor valor entre seis fotos da base de dados do sistema.

Figura 4.41 – Convergência com taxa limitada pela média desprezando o menor valor e 6 fotos.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

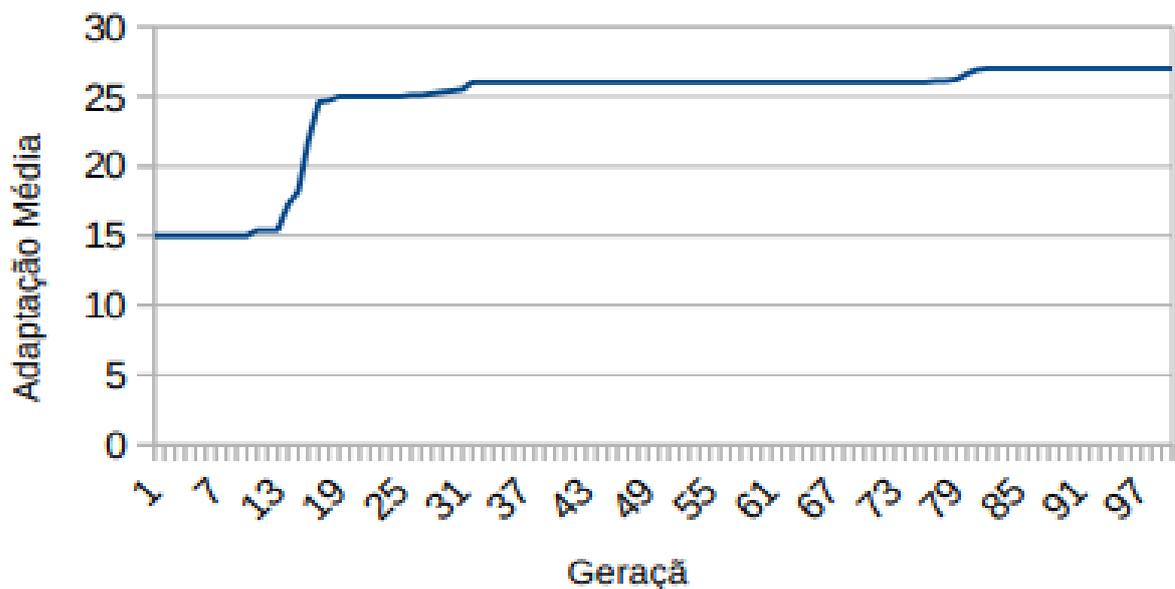
Figura 4.42 – Evolução dos ângulos, com taxa limitada pela média desprezando o menor valor e 6 fotos.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

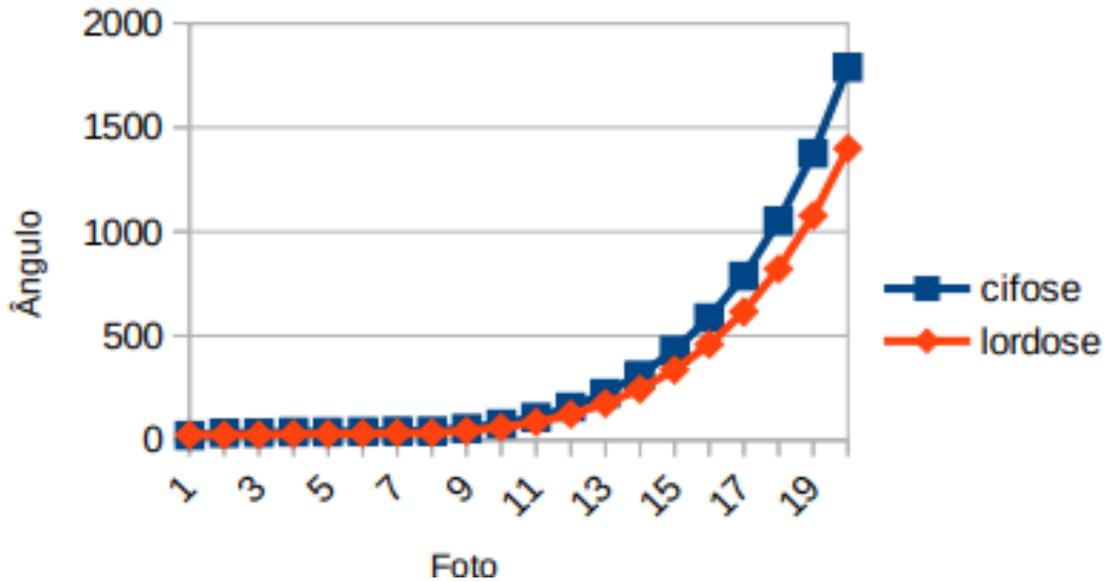
A Figura 4.43 mostra o diagrama da convergência do algoritmo e a Figura 4.44 previsão feita para uma possível ocorrência de cifose ou lordose, considerando que a taxa de crescimento dos ângulos está limitada pela média das taxas de crescimento obtidas desprezando o menor valor entre oito fotos da base de dados do sistema.

Figura 4.43 – Convergência com taxa limitada pela média desprezando o menor valor e 8 fotos.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

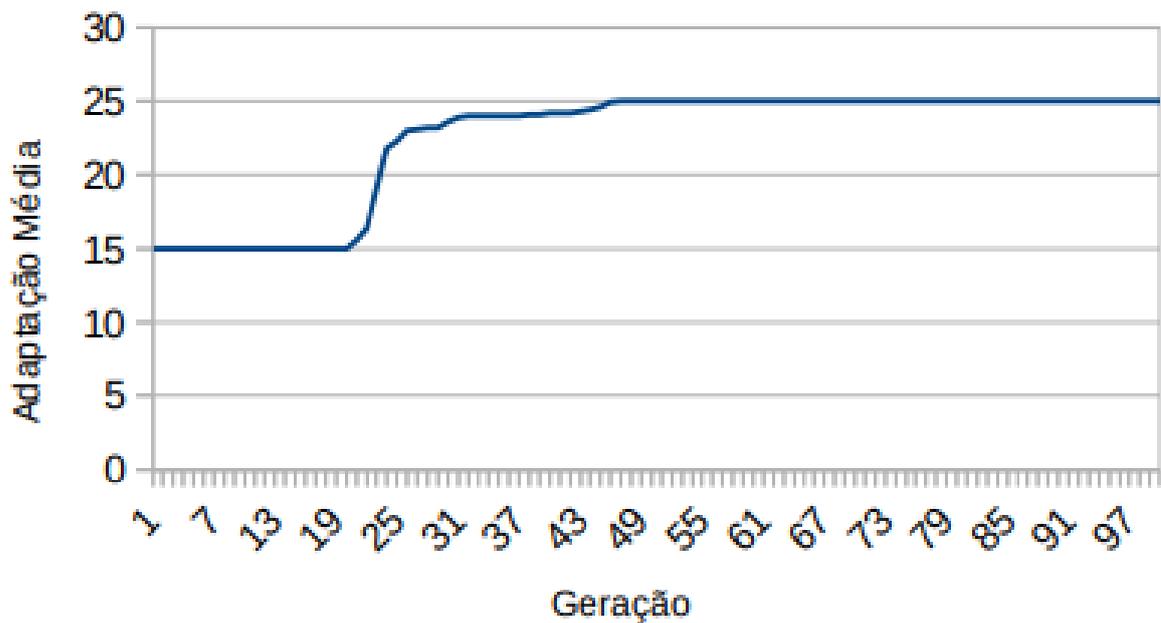
Figura 4.44 – Evolução dos ângulos, com taxa limitada pela média desprezando o menor valor e 8 fotos.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

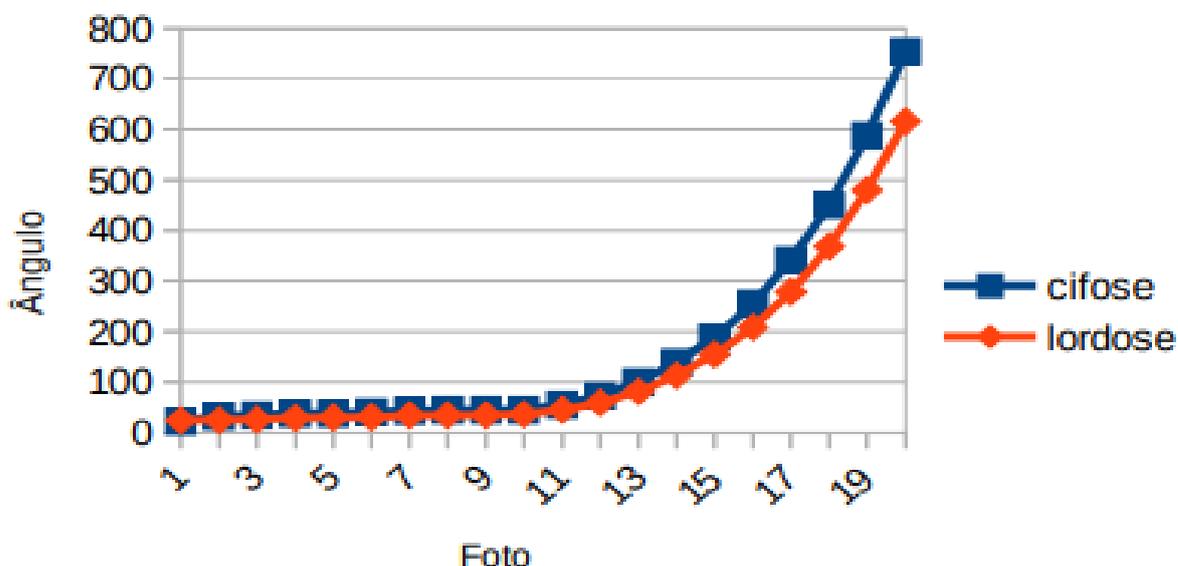
A Figura 4.45 mostra o diagrama da convergência do algoritmo e a Figura 4.46 previsão feita para uma possível ocorrência de cifose ou lordose, considerando que a taxa de crescimento dos ângulos está limitada pela média das taxas de crescimento obtidas desprezando o menor valor entre oito fotos da base de dados do sistema.

Figura 4.45 – Convergência com taxa limitada pela média desprezando o menor valor e 10 fotos



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Figura 4.46 – Evolução dos ângulos, com taxa limitada pela média desprezando o menor valor e 10 fotos.



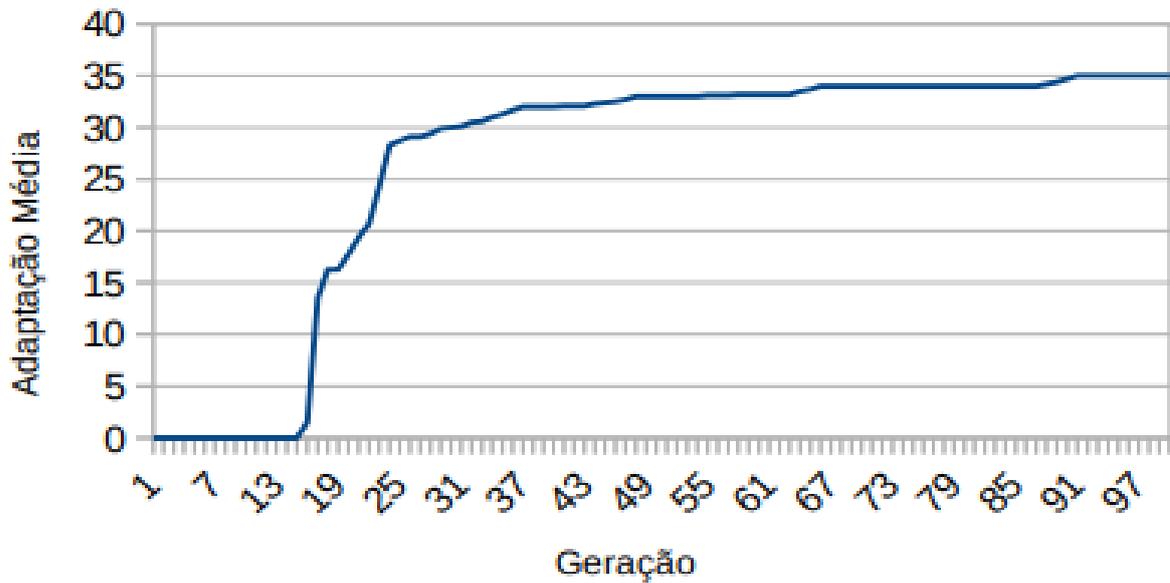
Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Considerando que a máxima alteração permitida nos ângulos da coluna esta limitada a média das alterações dos ângulos extraídos das fotos desprezando o menor valor de alteração registrado para cada problema de coluna, o algoritmo de previsão convergiu para uma situação crítica no máximo após 82 gerações. Como cada coluna do vetor indivíduo corresponderá a uma foto, então o sistema considerará os dados das cinco colunas após os dados das fotos fornecidas para fazer sua recomendação ao paciente de procurar um profissional de saúde. No caso das execuções acima o sistema fará o seguinte aconselhamento:

- para a simulação da Figura 4.35 – após 5 meses o paciente já estará com 0 medidas fora do padrão, e o sistema não irá sugerir que ele procure o profissional da área de saúde;
- para a simulação da Figura 4.39, Figura 4.41, Figura 4.43 e Figura 4.45 – após 5 meses o paciente já estará com 15 medidas fora do padrão, e o sistema irá sugerir que ele procure o profissional da área de saúde.

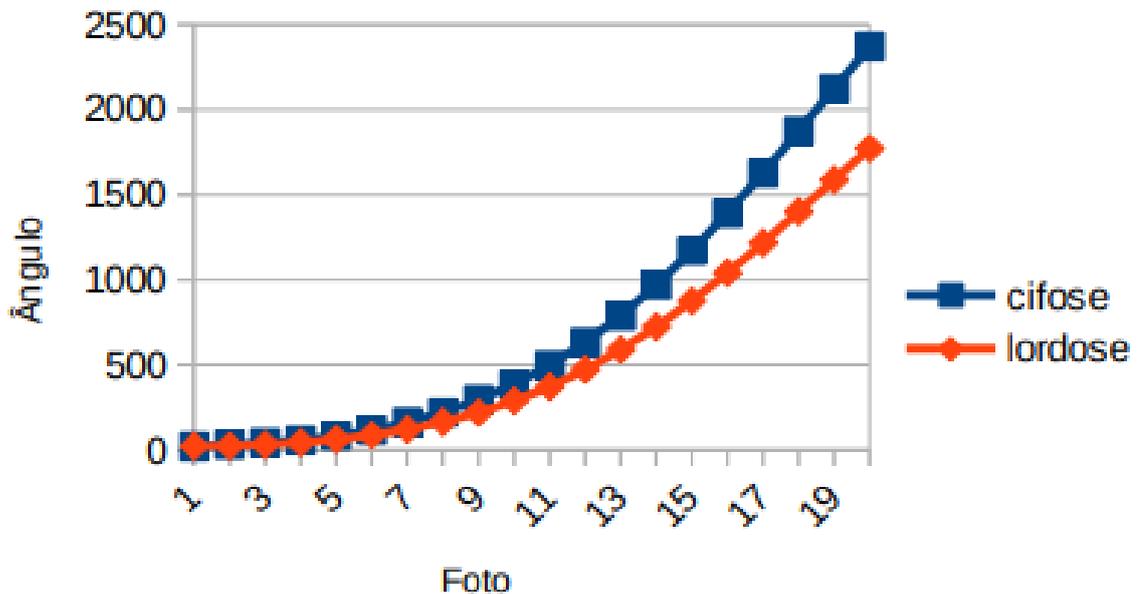
A Figura 4.47 mostra o diagrama da convergência do algoritmo e a Figura 4.48 previsão feita para uma possível ocorrência de cifose ou lordose, considerando que a taxa de crescimento dos ângulos está limitada pela média das taxas de crescimento obtidas desprezando o maior valor de ângulo entre 2 fotos da base de dados do sistema.

Figura 4.47 – Convergência com taxa limitada pela média desprezando o maior valor e 2 foto.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

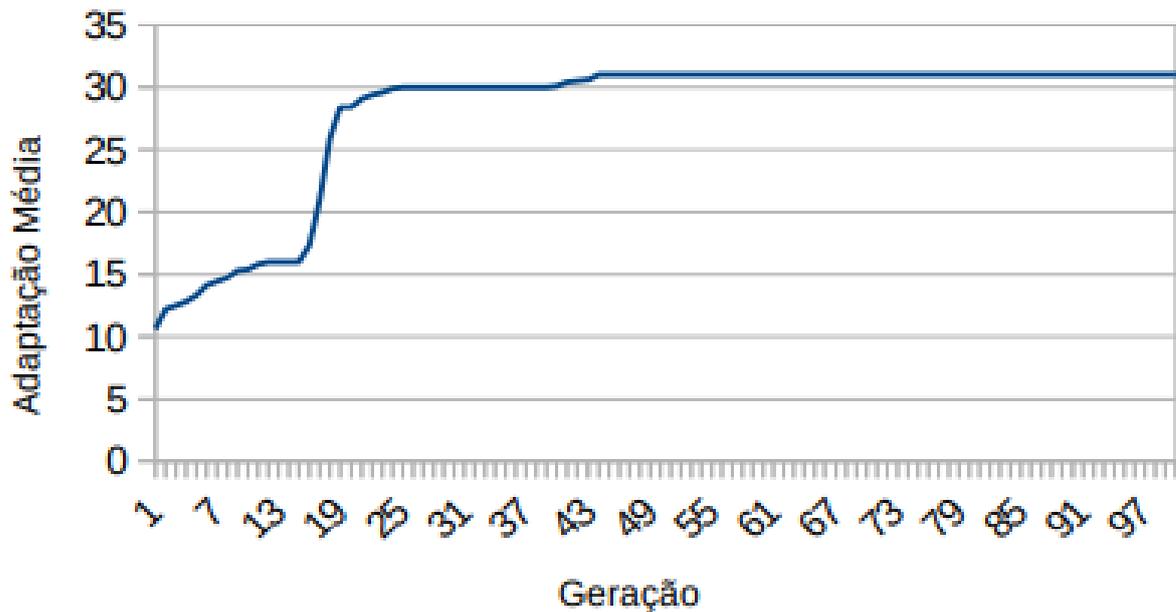
Figura 4.48 – Evolução dos ângulos com taxa limitada pela média desprezando o maior valor e 2 fotos.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

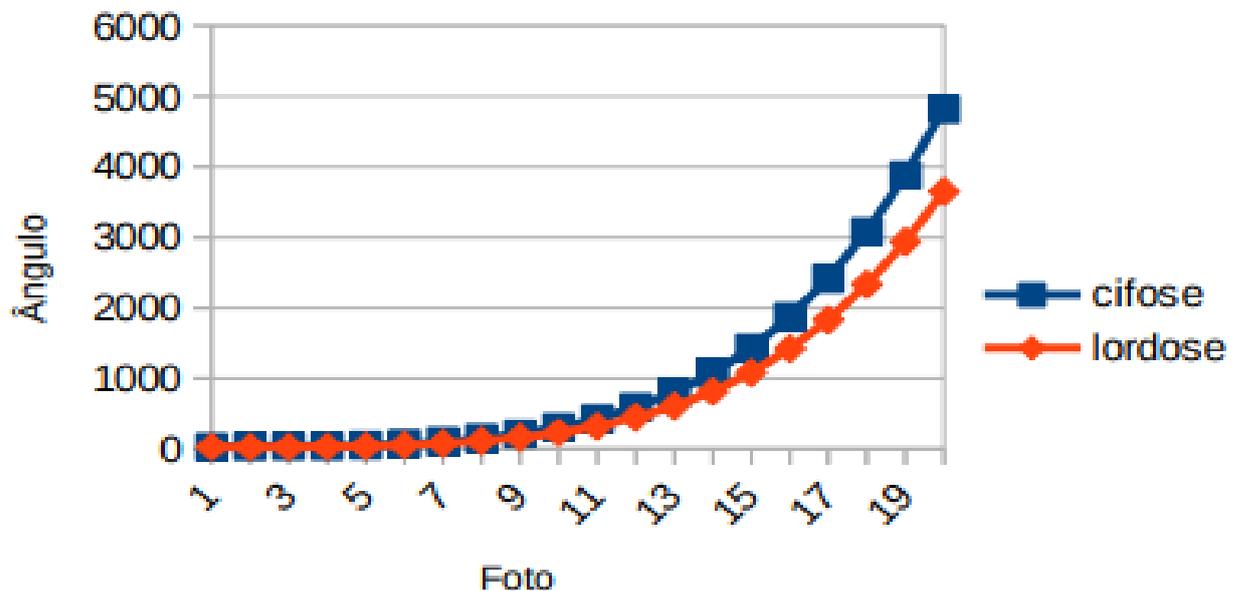
A Figura 4.49 mostra o diagrama da convergência do algoritmo e a Figura 4.50 previsão feita para uma possível ocorrência de cifose ou lordose, considerando que a taxa de crescimento dos ângulos está limitada pela média das taxas de crescimento obtidas desprezando o maior valor entre quatro fotos da base de dados do sistema.

Figura 4.49 – Convergência com taxa limitada pela média desprezando o maior valor e 4 fotos.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

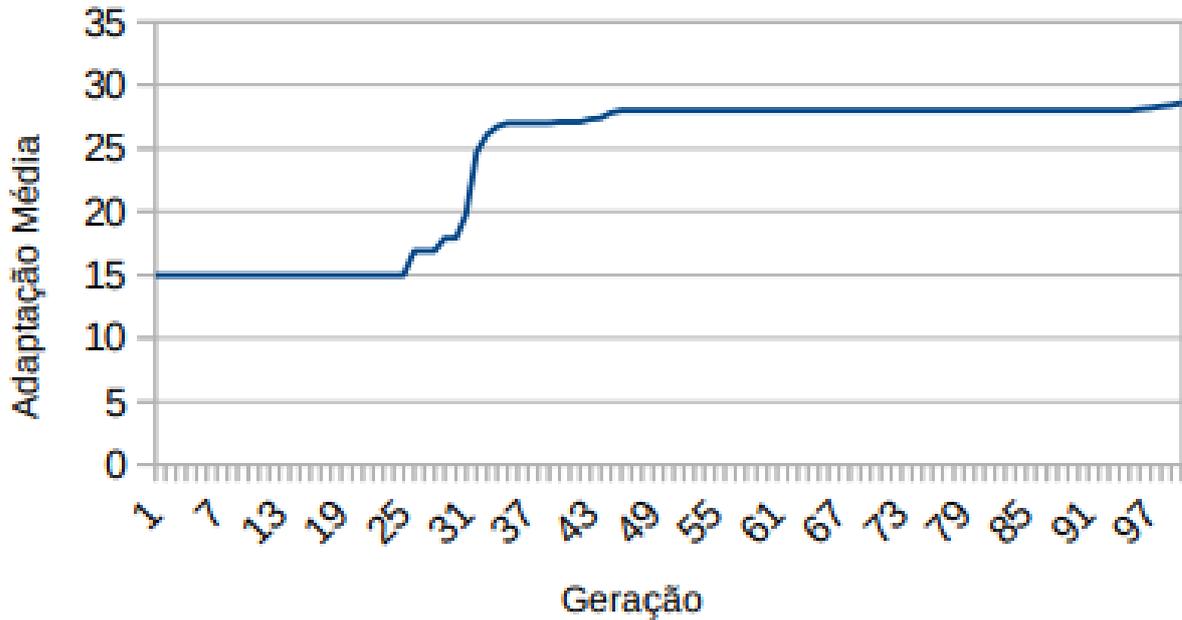
Figura 4.50 – Evolução dos ângulos com taxa limitada pela média desprezando o maior valor e 4 fotos.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

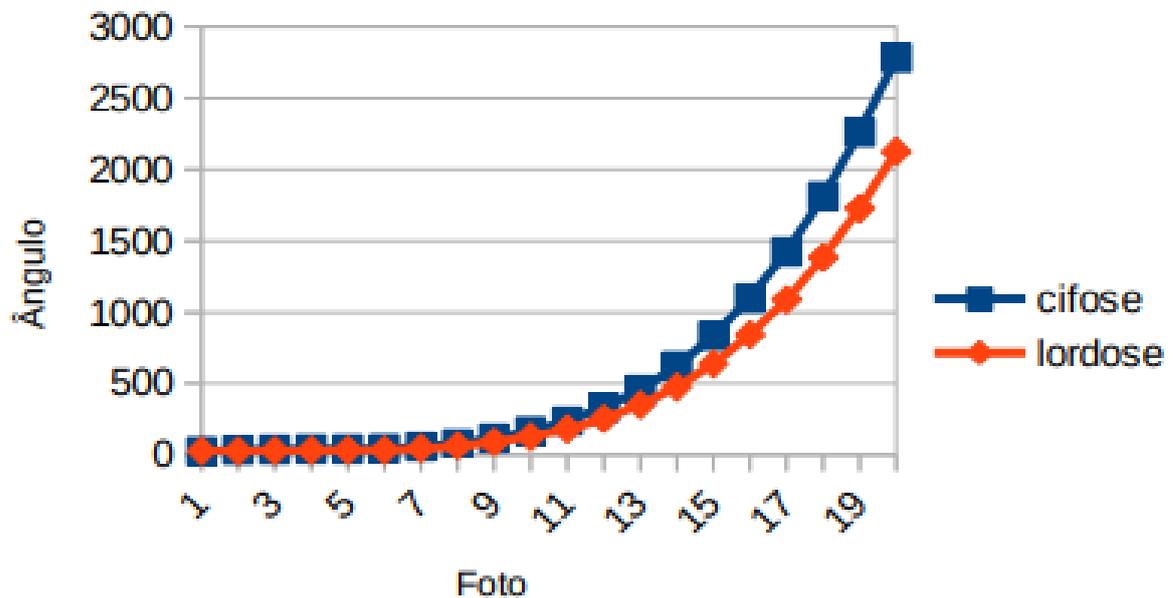
A Figura 4.51 mostra o diagrama da convergência do algoritmo e a Figura 4.52 previsão feita para uma possível ocorrência de cifose ou lordose, considerando que a taxa de crescimento dos ângulos está limitada pela média das taxas de crescimento obtidas desprezando o maior valor entre seis fotos da base de dados do sistema.

Figura 4.51 – Convergência com taxa limitada pela média desprezando o maior valor e 6 fotos.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

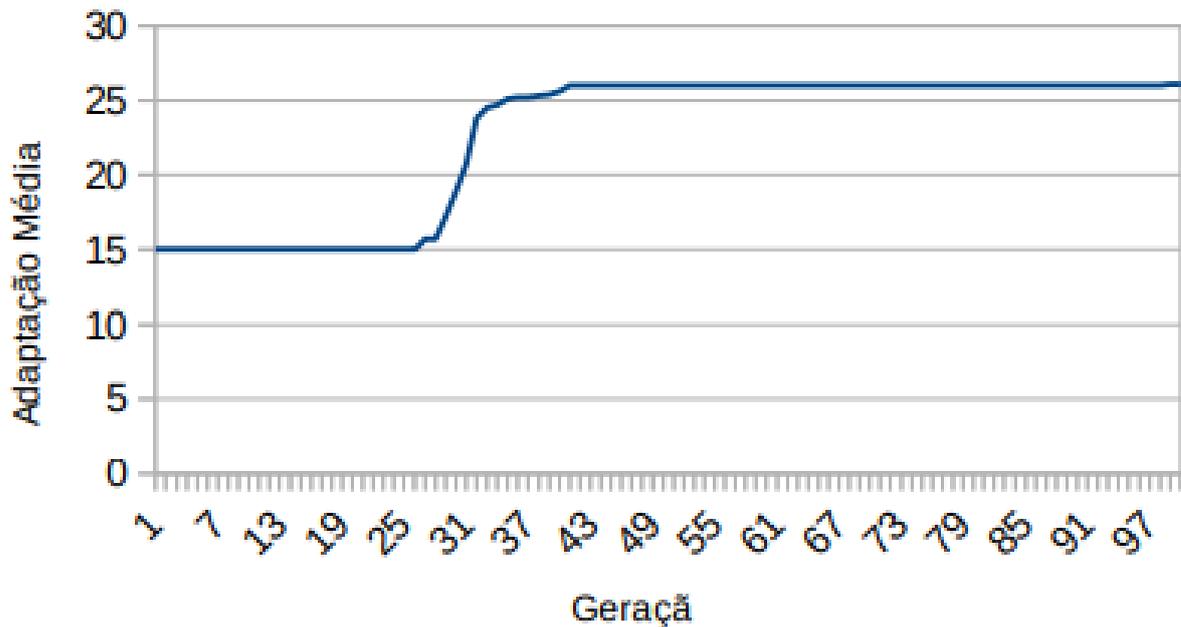
Figura 4.52 – Evolução dos ângulos, com taxa limitada pela média desprezando o maior valor e 6 fotos



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

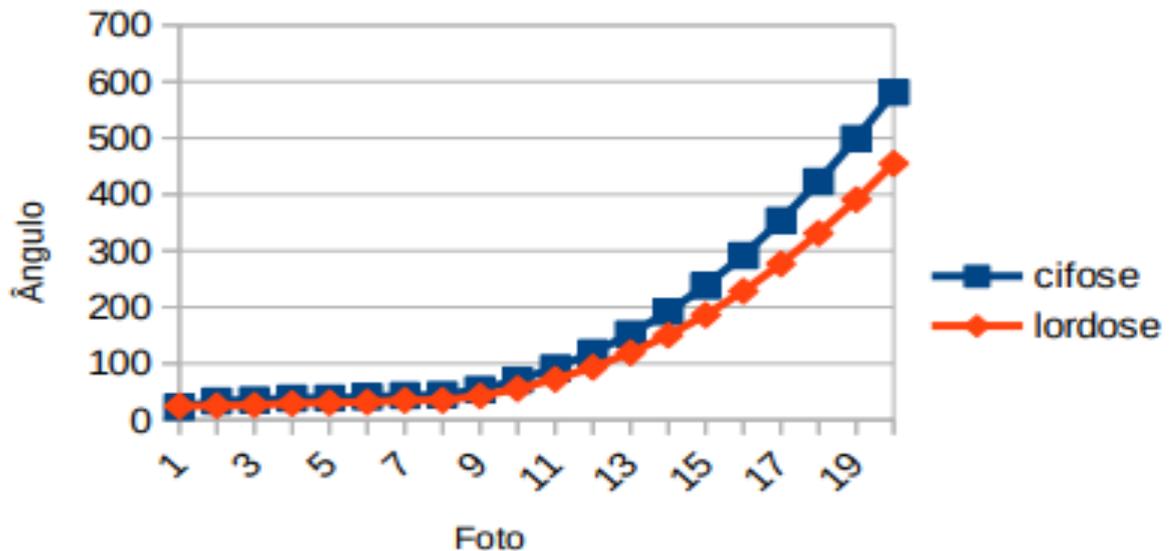
A Figura 4.53 mostra o diagrama da convergência do algoritmo e a Figura 4.54 previsão feita para uma possível ocorrência de cifose ou lordose, considerando que a taxa de crescimento dos ângulos está limitada pela média das taxas de crescimento obtidas desprezando o maior valor entre oito fotos da base de dados do sistema.

Figura 4.53 – Convergência com taxa limitada pela média desprezando o maior valor e 8 fotos.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

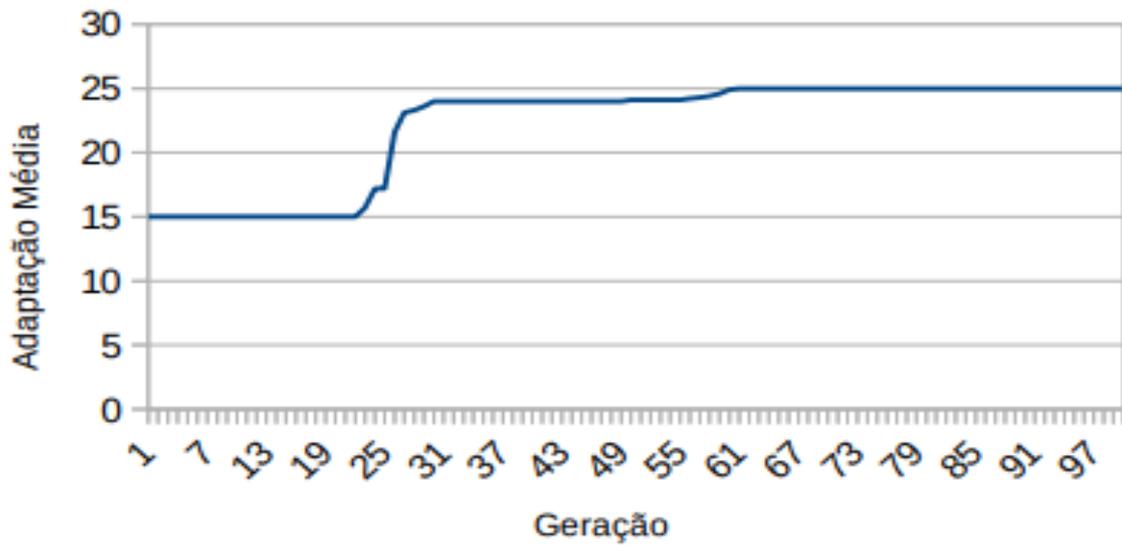
Figura 4.54 – Evolução dos ângulos, com taxa limitada pela média desprezando o maior valor e 8 fotos.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

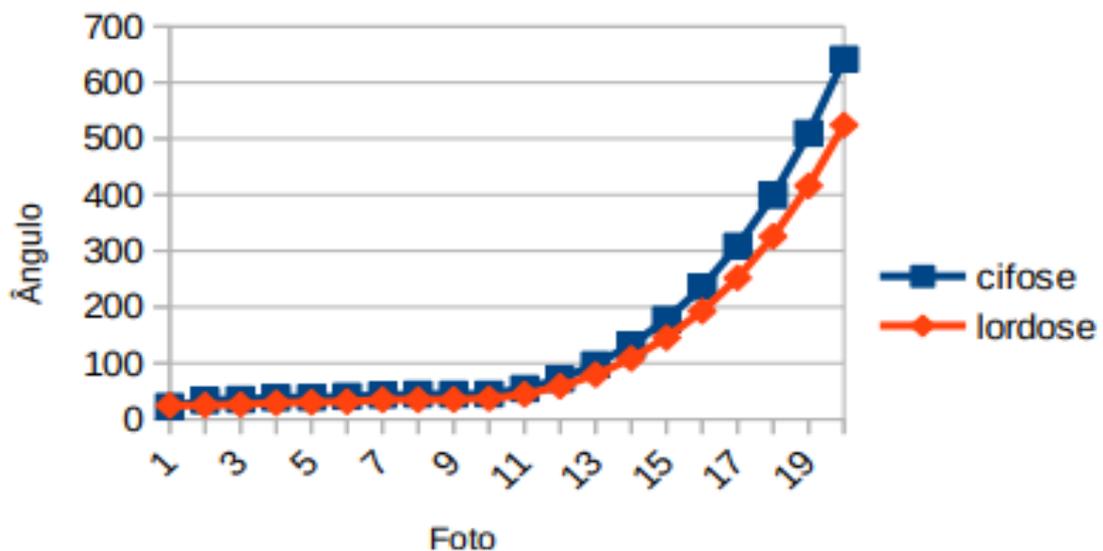
A Figura 4.55 mostra o diagrama da convergência do algoritmo e a Figura 4.56 previsão feita para uma possível ocorrência de cifose ou lordose, considerando que a taxa de crescimento dos ângulos está limitada pela média das taxas de crescimento obtidas desprezando o maior valor entre oito fotos da base de dados do sistema.

Figura 4.55 – Convergência com taxa limitada pela média desprezando o maior valor e 10 fotos.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Figura 4.56 – Evolução dos ângulos, com taxa limitada pela média desprezando o maior valor e 10 fotos.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

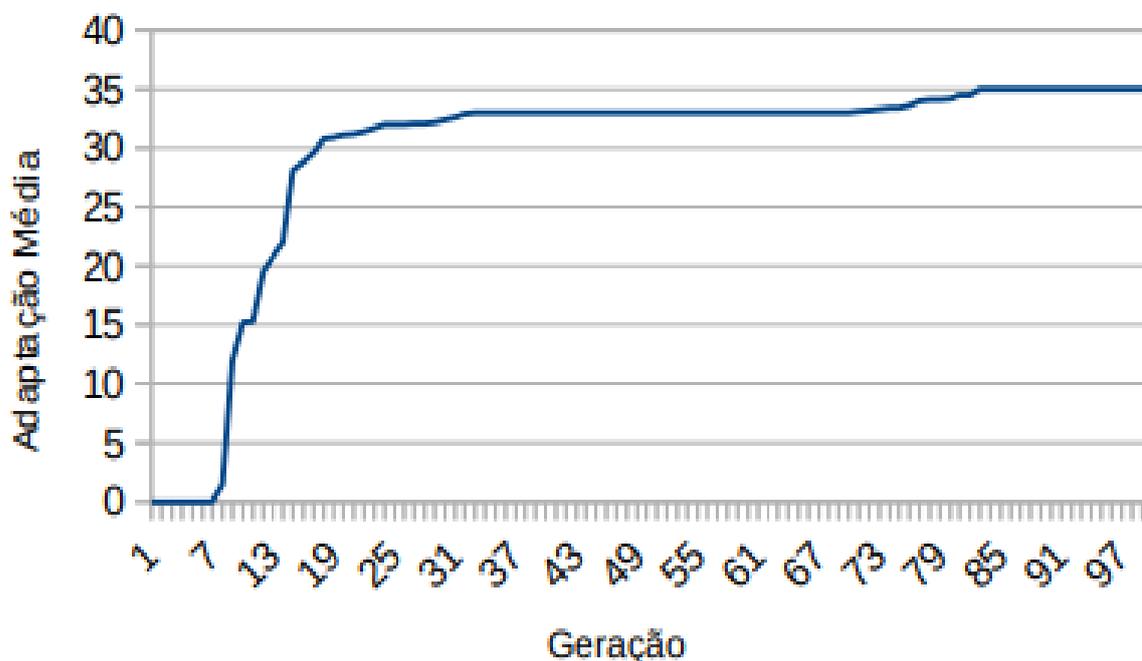
Considerando que a máxima alteração permitida nos ângulos da coluna esta limitada a média das alterações dos ângulos extraídos das fotos desprezando o maior valor de alteração registrado para cada problema de coluna, o algoritmo de previsão convergiu para uma situação crítica no máximo após 91 gerações. Como cada coluna do vetor indivíduo corresponderá a uma foto, então o sistema considerará os dados das cinco colunas após os dados das fotos fornecidas para fazer sua recomendação

ao paciente de procurar um profissional de saúde. No caso das execuções acima o sistema fará o seguinte aconselhamento:

- para a simulação da Figura 4.45 – após 5 meses o paciente já estará com 0 medidas fora do padrão, e o sistema não irá sugerir que ele procure o profissional da área de saúde;
- para a simulação da Figura 4.49, Figura 4.51, Figura 4.53 e Figura 4.45 – após 5 meses o paciente já estará com 15 medidas fora do padrão, e o sistema irá sugerir que ele procure o profissional da área de saúde.

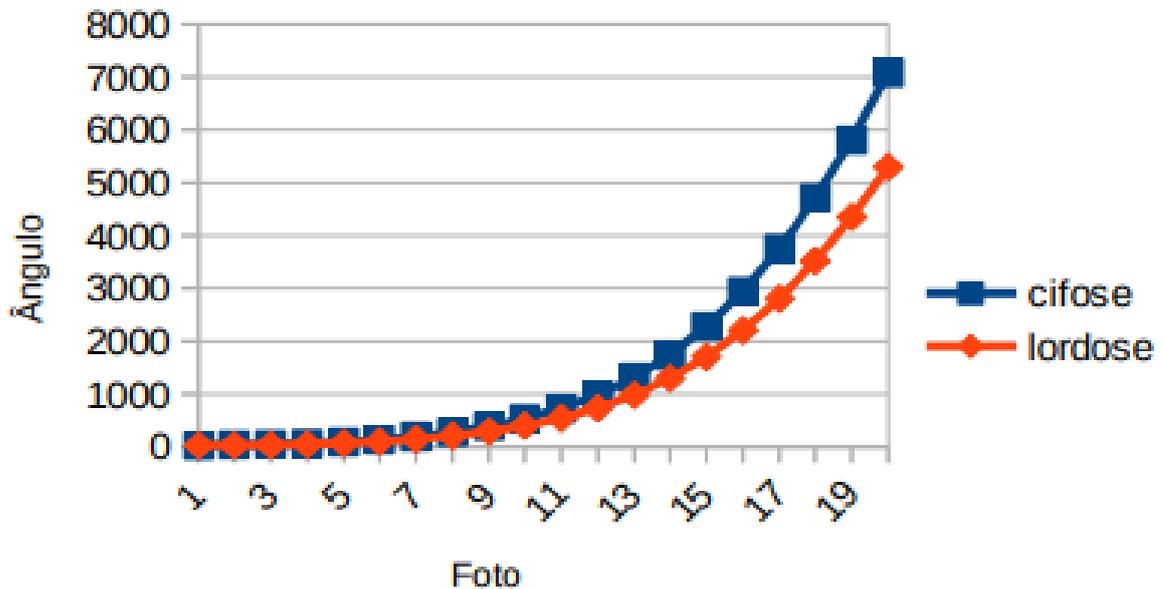
A Figura 4.57 mostra o diagrama da convergência do algoritmo e a Figura 4.58 previsão feita para uma possível ocorrência de cifose ou lordose, considerando que a taxa de crescimento dos ângulos está limitada pela média das taxas de crescimento obtidas desprezando o menor e o maior valor de ângulo entre 2 fotos da base de dados do sistema.

Figura 4.57 – Convergência com taxa limitada pela média desprezando o menor e maior valor em 2 fotos.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

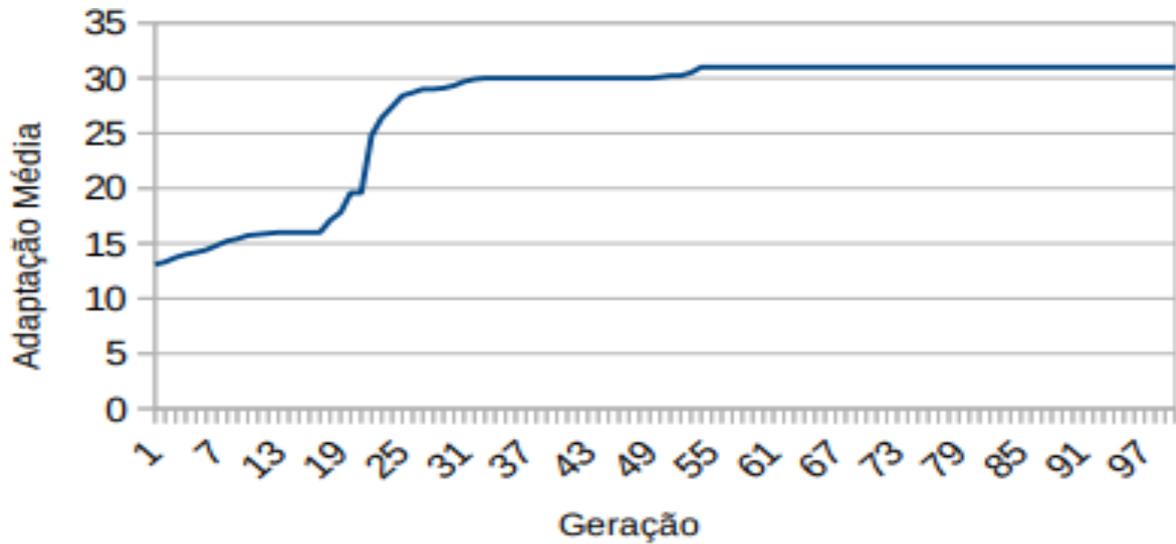
Figura 4.58 – Evolução dos ângulos com taxa limitada pela média desprezando menor e o maior valor e 2 fotos.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

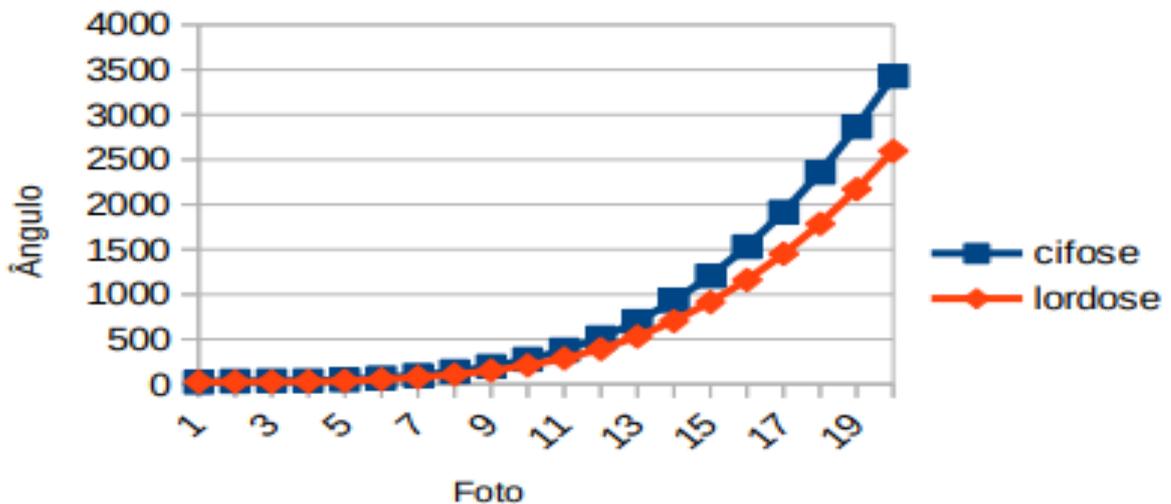
Vale ressaltar que a variação dos ângulos está definida na página 65 deste trabalho, onde está estabelecido que a taxa de variação do ângulo pertence ao intervalo de 0 a 1 fechado. A Figura 4.59 mostra o diagrama da convergência do algoritmo e a Figura 4.60 previsão feita para uma possível ocorrência de cifose ou lordose, considerando que a taxa de crescimento dos ângulos está limitada pela média das taxas de crescimento obtidas desprezando o menor e o maior valor entre quatro fotos da base de dados do sistema.

Figura 4.59 – Convergência com taxa limitada pela média desprezando o menor e o maior valor em 4 fotos.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

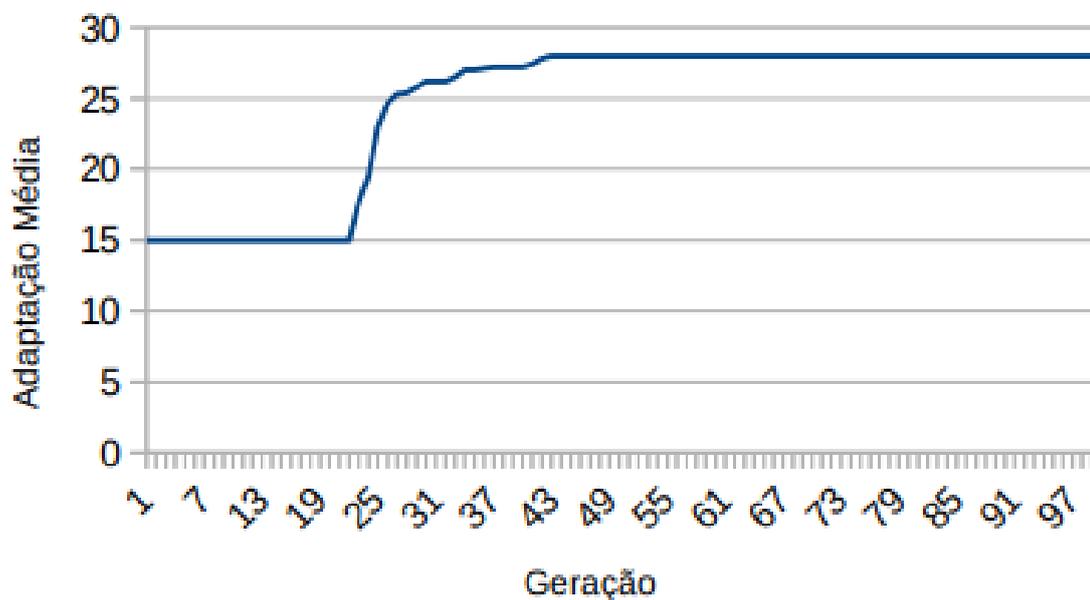
Figura 4.60 – Evolução dos ângulos com taxa limitada pela média desprezando o menor e o maior valor em 4 fotos.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

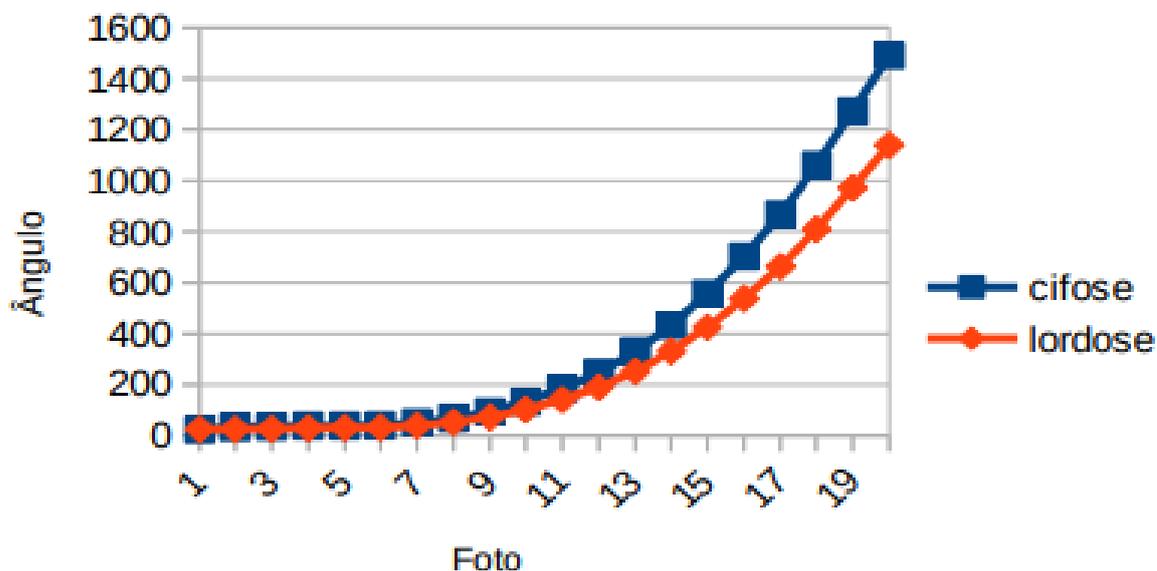
A Figura 4.61 mostra o diagrama da convergência do algoritmo e a Figura 4.62 previsão feita para uma possível ocorrência de cifose ou lordose, considerando que a taxa de crescimento dos ângulos está limitada pela média das taxas de crescimento obtidas desprezando o menor e o maior valor entre seis fotos da base de dados do sistema.

Figura 4.61 – Convergência com taxa limitada pela média desprezando o menor e o maior valor em 6 fotos.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Figura 4.62 – Evolução dos ângulos, com taxa limitada pela média desprezando o menor e o maior valor em 6 fotos.

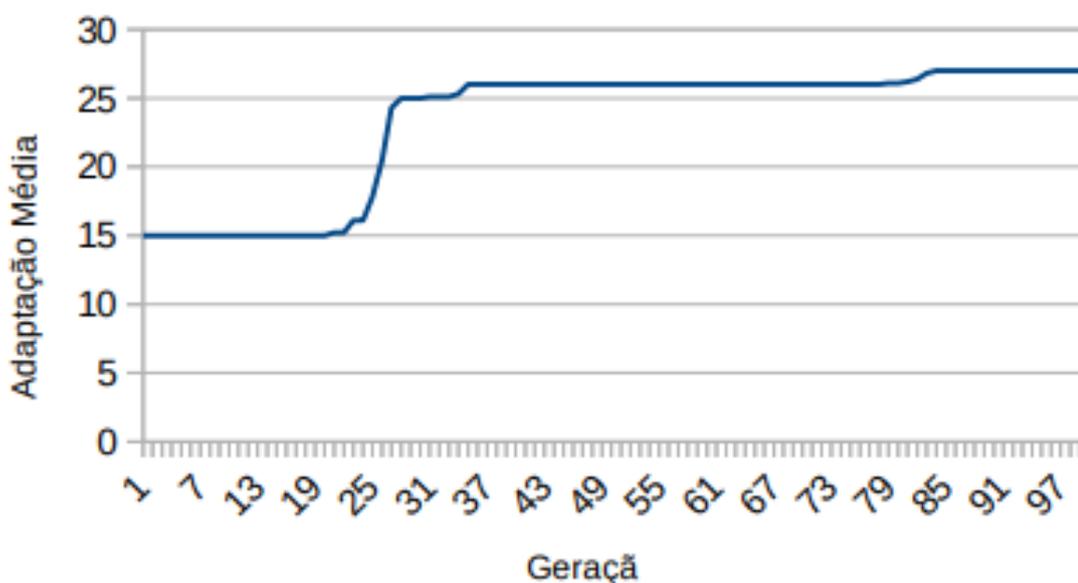


Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

A Figura 4.63 mostra o diagrama da convergência do algoritmo e a Figura 4.64 previsão feita para uma possível ocorrência de cifose ou lordose, considerando que a taxa de crescimento dos ângulos está limitada pela média das taxas de crescimento obtidas desprezando o menor e o maior valor entre oito fotos da base de dados do

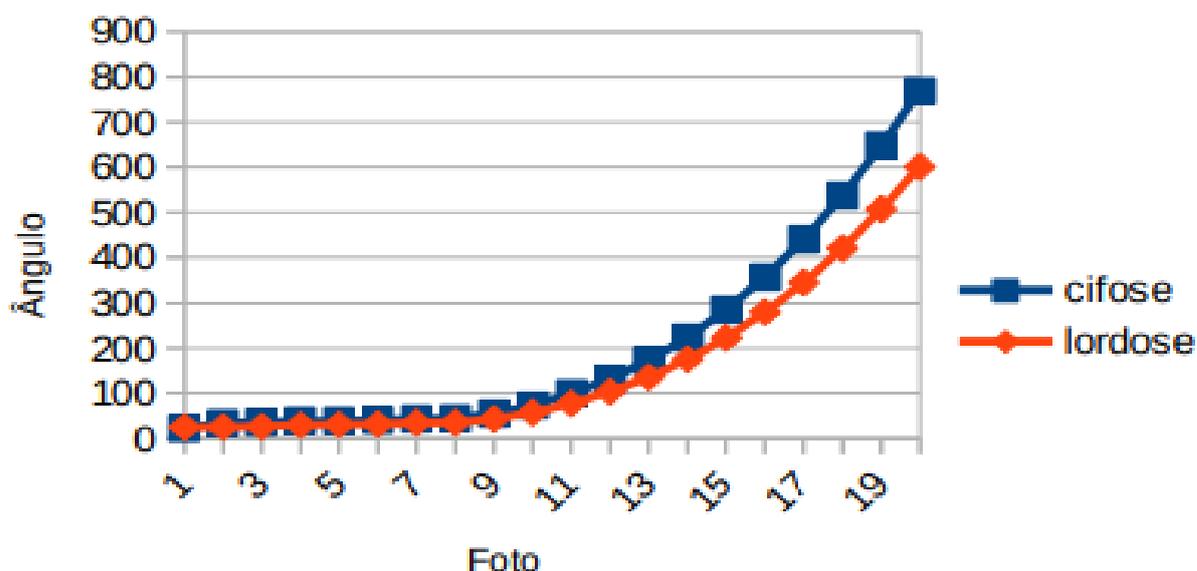
sistema.

Figura 4.63 – Convergência com taxa limitada pela média desprezando o menor e o maior valor em 8 fotos



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Figura 4.64 – Evolução dos ângulos, com taxa limitada pela média desprezando o menor e o maior valor em 8 fotos.

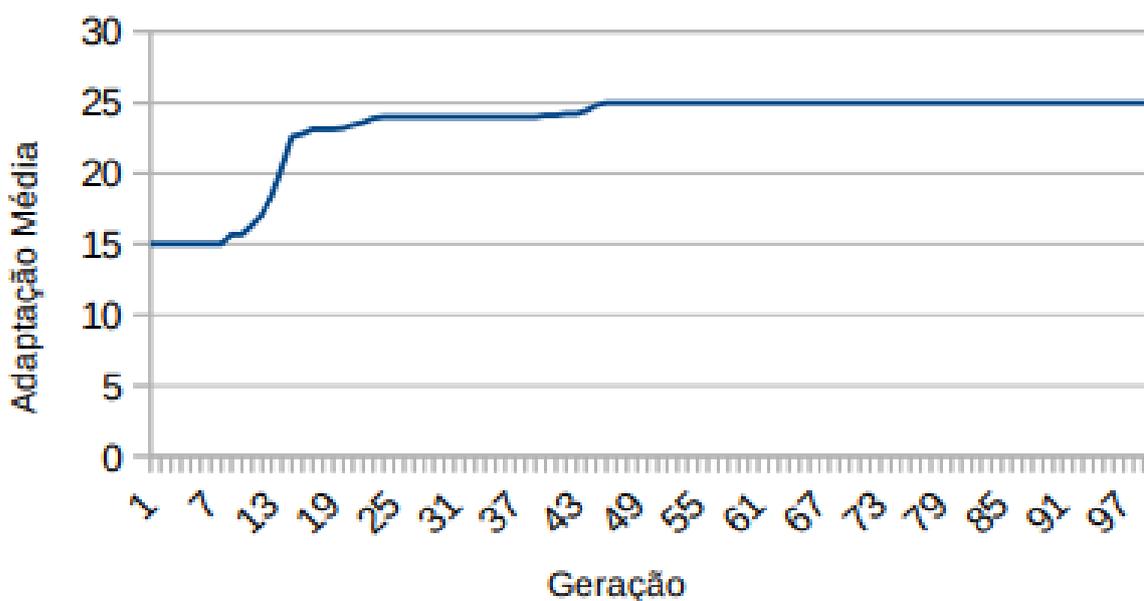


Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

A Figura 4.65 mostra o diagrama da convergência do algoritmo e a Figura 4.66 previsão feita para uma possível ocorrência de cifose ou lordose, considerando que a

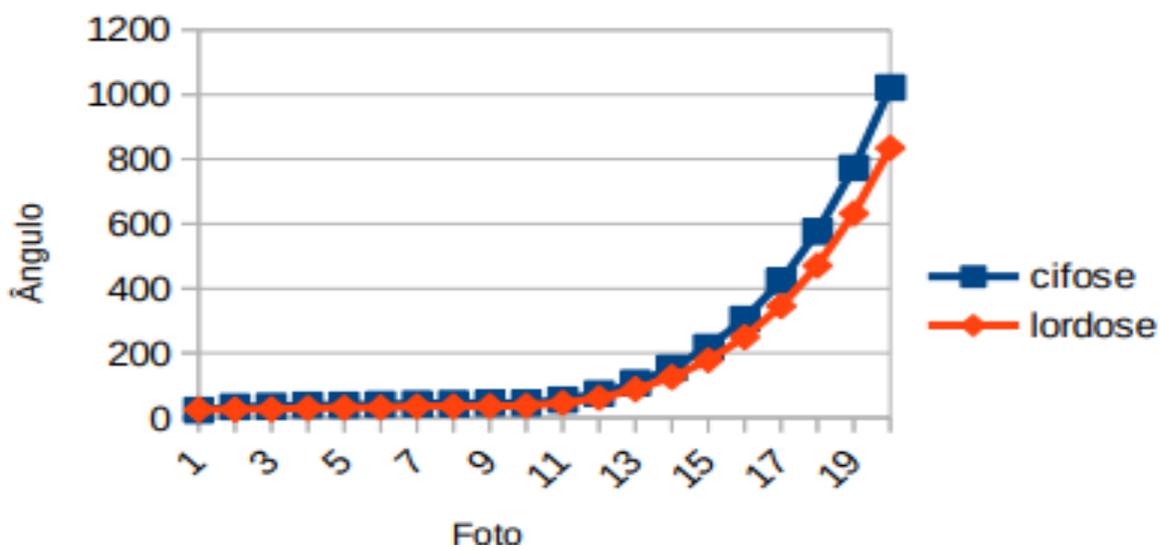
taxa de crescimento dos ângulos está limitada pela média das taxas de crescimento obtidas desprezando o menor e o maior valor entre oito fotos da base de dados do sistema.

Figura 4.65 – Convergência com taxa limitada pela média desprezando o menor e o maior valor em 10 fotos.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Figura 4.66 – Evolução dos ângulos, com taxa limitada pela média desprezando o menor e o maior valor em 10 fotos.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Considerando que a máxima alteração permitida nos ângulos da coluna esta

limitada a média das alterações dos ângulos extraídos das fotos desprezando o menor e o maior valor de alteração registrado para cada problema de coluna, o algoritmo de previsão convergiu para uma situação crítica no máximo após 84 gerações. Como cada coluna do vetor indivíduo corresponderá a uma foto, então o sistema considerará os dados das cinco colunas após os dados das fotos fornecidas para fazer sua recomendação ao paciente de procurar um profissional de saúde. No caso das execuções acima o sistema fará o seguinte aconselhamento:

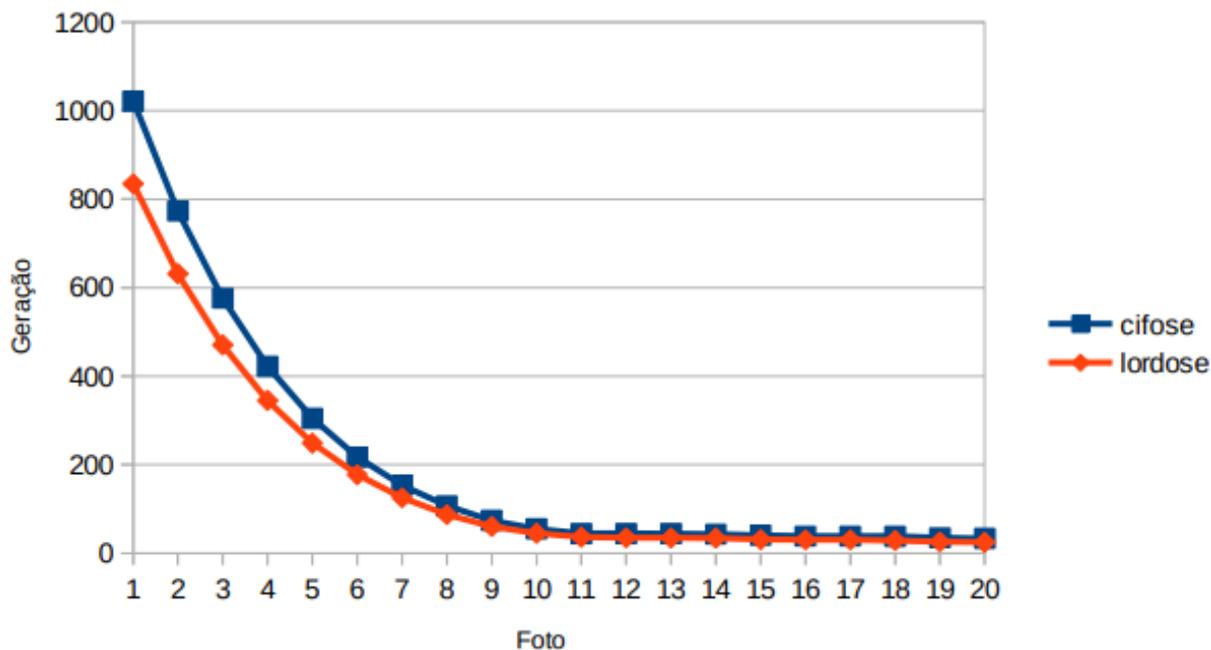
- para a simulação da Figura 4.55 – após 5 meses o paciente já estará com 0 medidas fora do padrão, e o sistema não irá sugerir que ele procure o profissional da área de saúde;
- para a simulação da Figura 4.59, Figura 4.61 e Figura 4.63 – após 5 meses o paciente já estará com 15 medidas fora do padrão, e o sistema irá sugerir que ele procure o profissional da área de saúde.
- para a simulação da Figura 4.65 – após 5 meses o paciente já estará com 22 medidas fora do padrão, e o sistema irá sugerir que ele procure o profissional da área de saúde.

Todas as simulações com desprezo de valores do menor e/ou maior ângulo tem em um número pequenos de fotos uma conversão mais lentamente e tendem a ficar muito parecidas quando o número de fotos aumenta. Embora seja esperado que para estas simulações que o sistema de previsão sempre acabe sua convergência concluindo na necessidade do paciente de procurar, o sistema irá se deter na análise dos próximos 5 meses isso porque quanto maior o número de fotos analisadas mais próxima as realidade será a previsão do sistema.

Além do cenário acima mais outros cenários foram investigados, e os resultados observados foram:

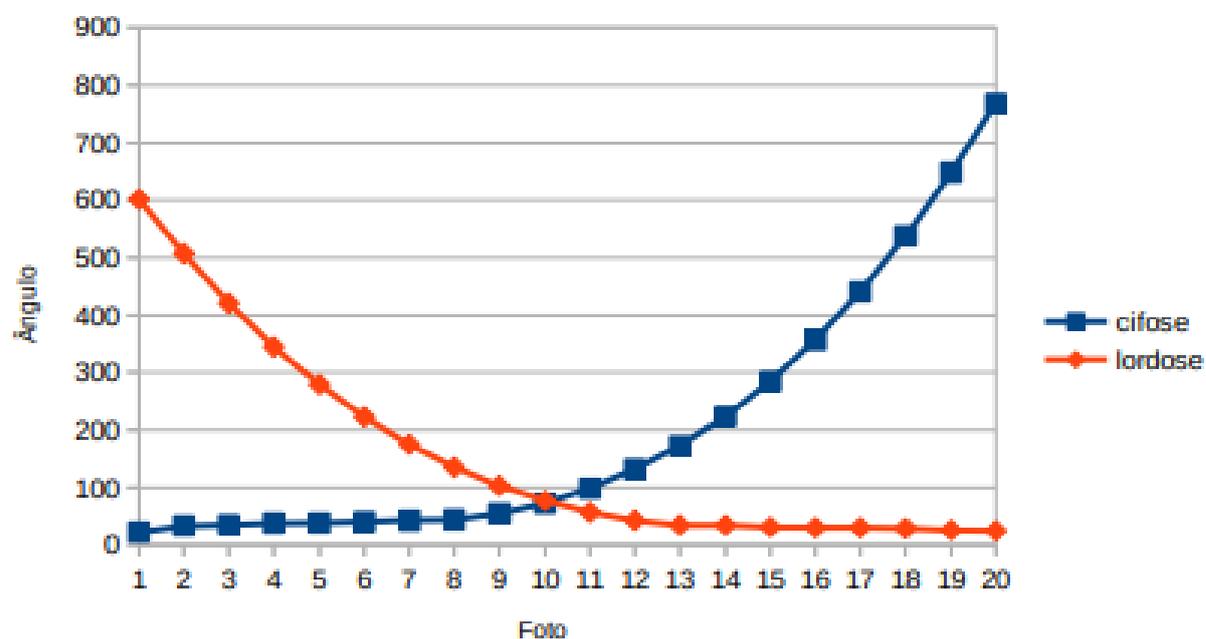
- no cenário dos ângulos da cifose e lordose decresce, na base de dados os resultados obtidos foram similares aos apresentados acima em todos os aspectos convergência, porém no aspecto da curva de crescimento dos ângulos do problema, obteve-se uma figura similar a Figura 4.67
- no cenário dos ângulos da cifose crescer e da lordose decresce, na base de dados os resultados obtidos foram similares aos apresentados acima em todos os aspectos convergência, porém no aspecto da curva de crescimento dos ângulos do problema, obtivesse uma figura similar a Figura 4.68.

Figura 4.67 – Evolução da cifose e lordose com os ângulos decrescendo



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

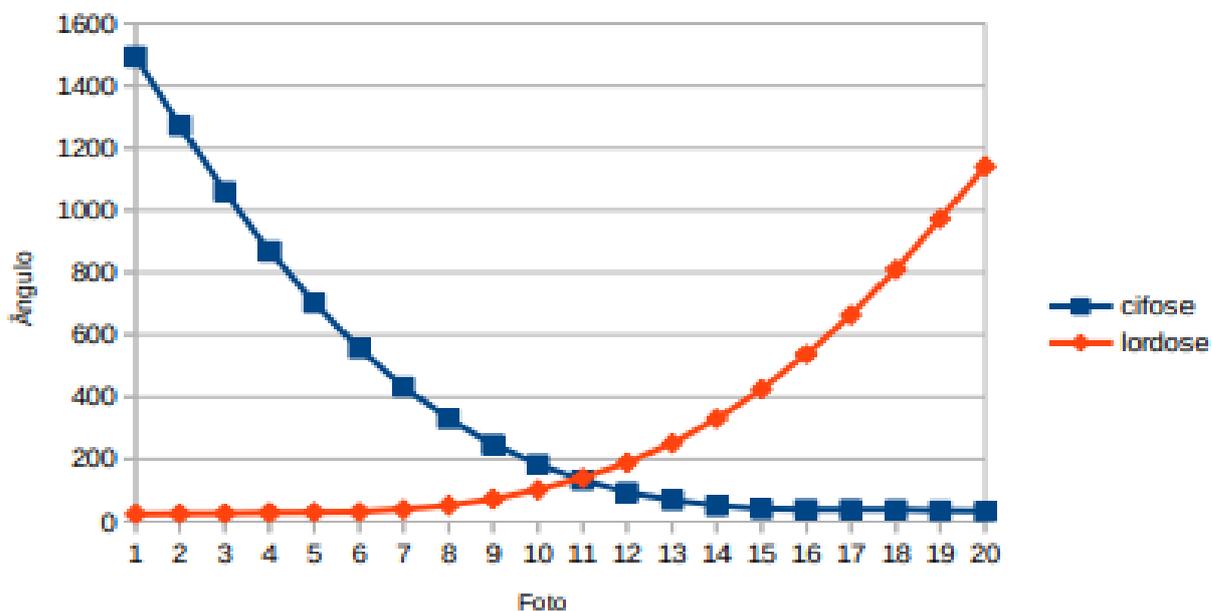
Figura 4.68 – Evolução da cifose com os ângulos crescendo e lordose com os ângulos decrescendo.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

- no cenário dos ângulos da cifose decrescer e da lordose cresce, na base de dados os resultados obtidos foram similares aos apresentados acima em todos os aspectos convergência, porém no aspecto da curva de crescimento dos ângulos do problema, obtivesse uma figura similar a Figura 4.69.

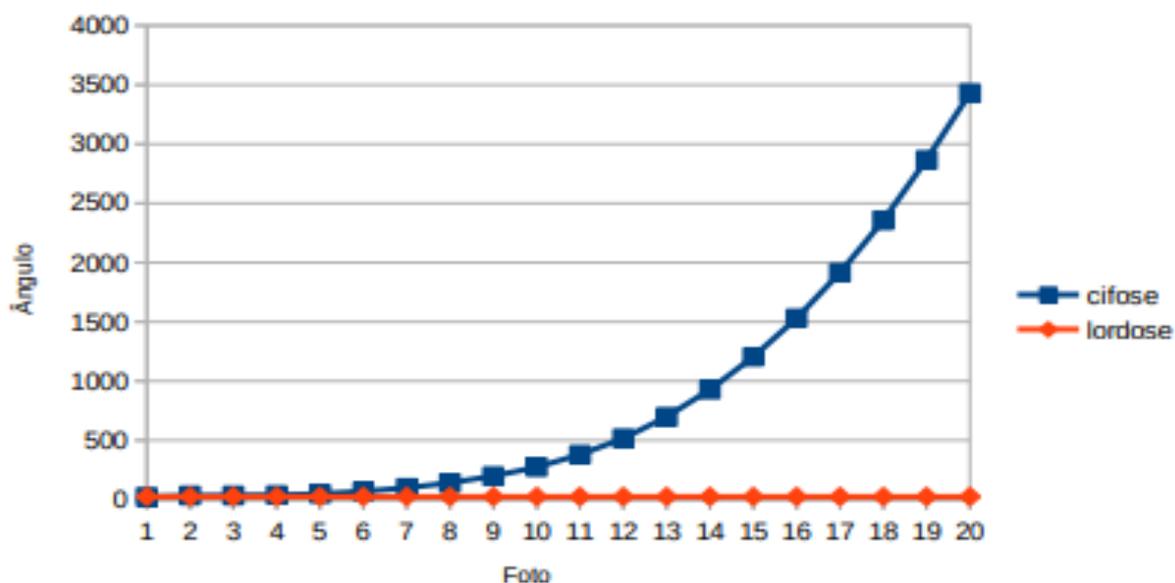
Figura 4.69 – Evolução da cifose com os ângulos decrescendo e lordose com os ângulos crescendo.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

- O cenário em que o ângulo da cifose cresce e lordose é constante, na base de dados os resultados obtidos foram similares aos apresentados acima em todos os aspectos convergência, porém no aspecto da curva de crescimento dos ângulos do problema, obtivesse uma figura similar a Figura 4.70.

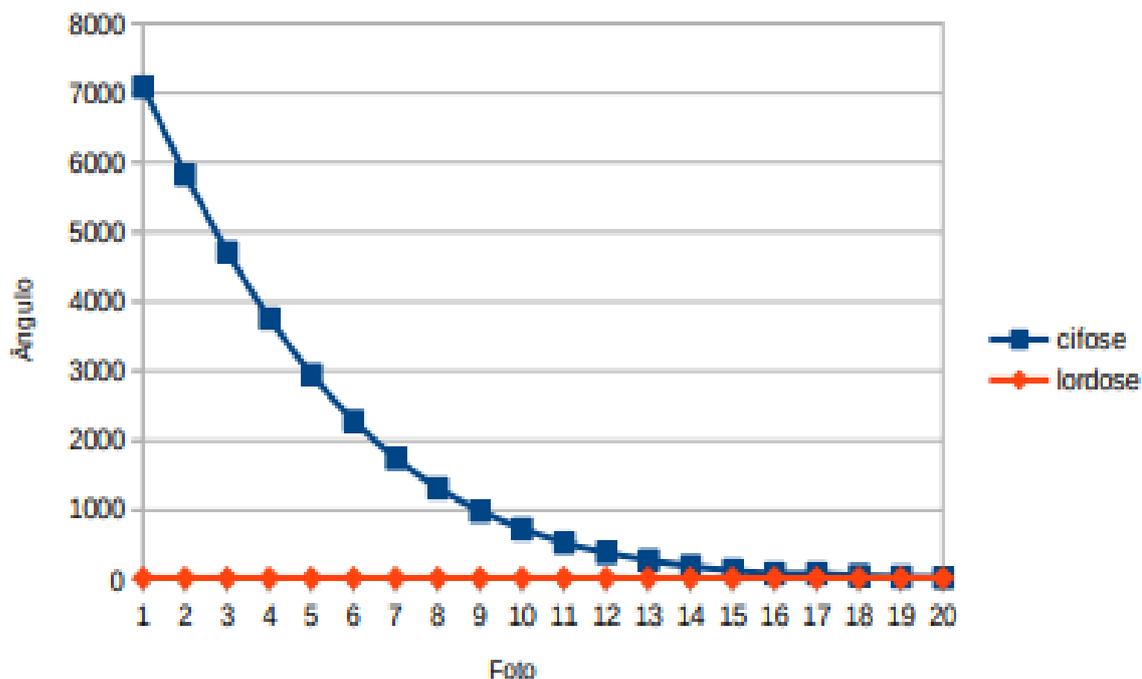
Figura 4.70 – Evolução da cifose com os ângulos crescendo e lordose com os ângulos constantes.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

- O cenário em que o ângulo da cifose decrescer e lordose é constante, na base de dados os resultados obtidos foram similares aos apresentados acima em todos os aspectos convergência, porém no aspecto da curva de crescimento dos ângulos do problema, obtivesse uma figura similar a Figura 4.71.

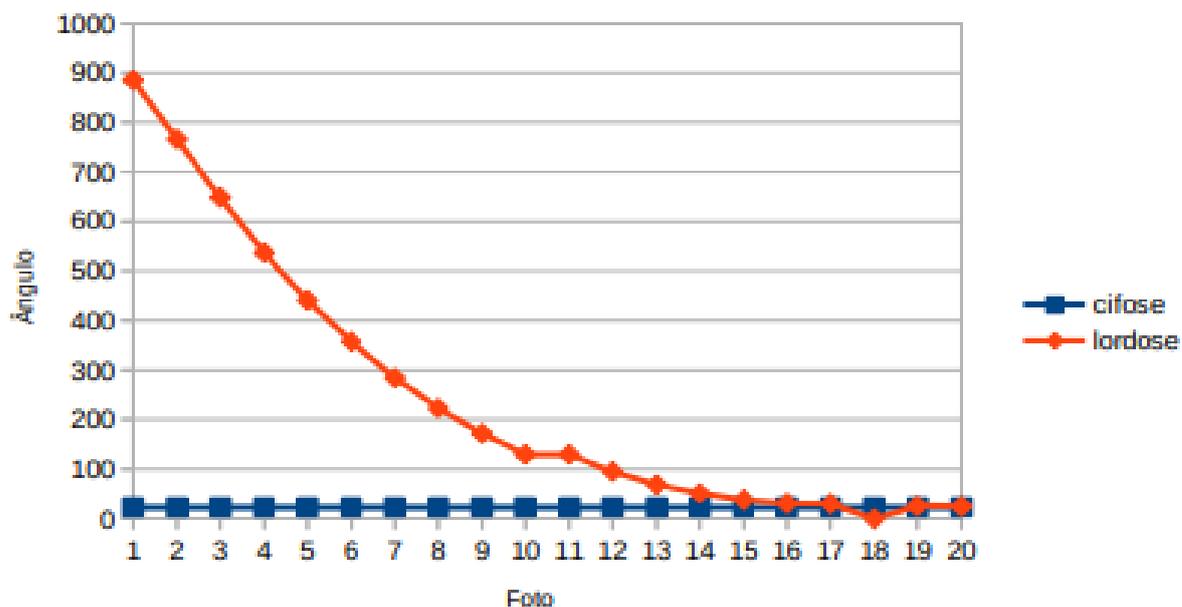
Figura 4.71 – Evolução da cifose com os ângulos decrescendo e lordose com os ângulos constantes.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

- O cenário em que o ângulo da cifose é constante e lordose cresce, na base de dados os resultados obtidos foram similares aos apresentados acima em todos os aspectos convergência, porém no aspecto da curva de crescimento dos ângulos do problema, obtivesse uma figura similar a Figura 4.72.

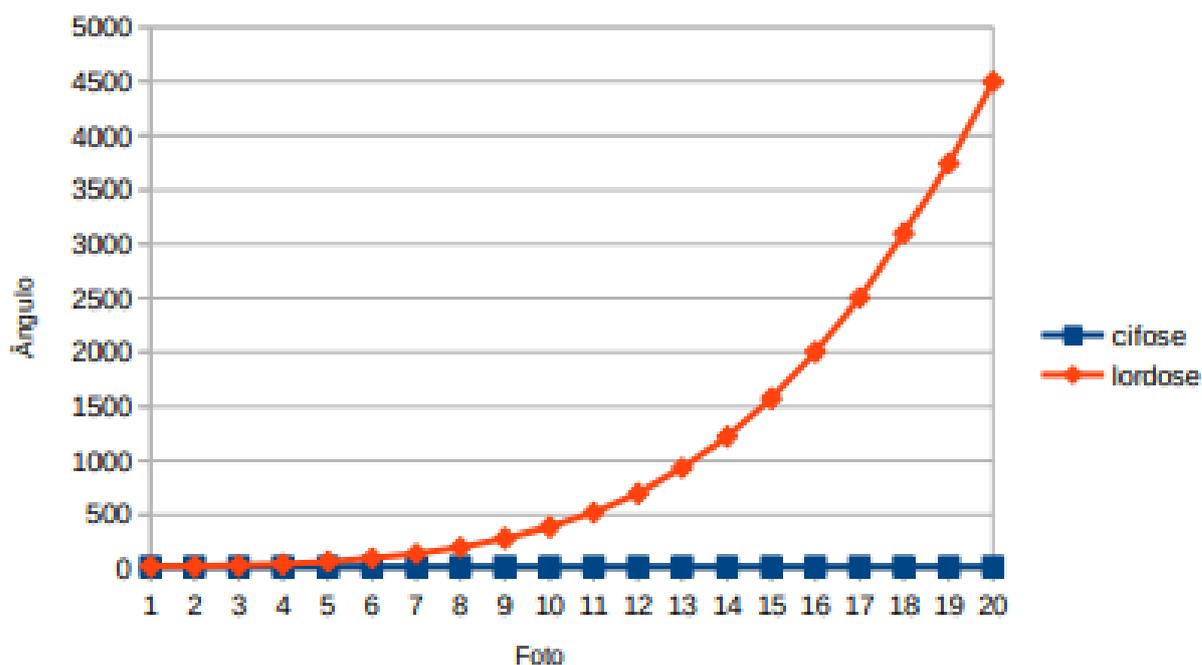
Figura 4.72 – Evolução da cifose com os ângulos constantes e lordose com os ângulos decrescendo.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

- O cenário em que o ângulo da cifose é constante e lordose decrescer, na base de dados os resultados obtidos foram similares aos apresentados acima em todos os aspectos convergência, porém no aspecto da curva de crescimento dos ângulos do problema, obtivesse uma figura similar a Figura 4.73.

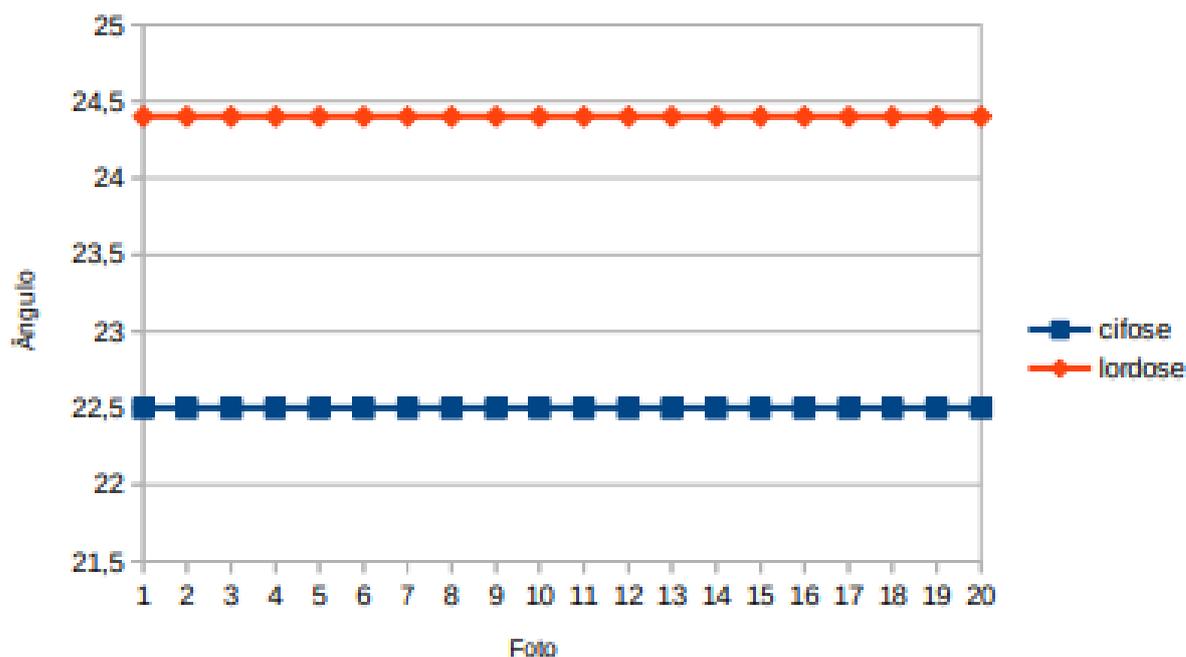
Figura 4.73 – Evolução da cifose com os ângulos constantes e lordose com os ângulos crescendo



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

- O cenário em que o ângulo da cifose é constante e lordose decrescer, na base de dados os resultados obtidos foram similares aos apresentados acima em todos os aspectos convergência, porém no aspecto da curva de crescimento dos ângulos do problema, obtivesse uma figura similar a Figura 4.74.

Figura 4.74 – Evolução da cifose e lordose com os ângulos constantes.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Voltando ao Quadro 2.1 do capítulo 2 e comparando a proposta do *software* apresentado neste capítulo com os sistemas já existentes, obtemos o Quadro 4.1.

Quadro 4.1 – Vantagens e desvantagens dos softwares

Métodos	Vantagens	Desvantagens
COLUMN	Consegue mensurar onde localiza-se marcadores sem a necessidade de um profissional de saúde, fácil manuseio e não requer o deslocamento do paciente a um laboratório ou consultório.	Aparelho com configurações mínimas para rodar o aplicativo.
SAPO	Consegue mensurar onde localiza-se marcadores com a necessidade de um profissional de saúde.	Difícil manuseio, requer deslocamento do paciente para um laboratório ou

		consultório
COREL DRAW	Consegue mensurar onde localiza-se marcadores com a necessidade de um profissional de saúde.	Difícil manuseio, requer deslocamento do paciente para um laboratório ou consultório.

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

4.5 Considerações Finais.

No presente capítulo apresentou-se o algoritmo genético de Holland desenvolvido pelo autor para fazer a previsão dos próximos ângulos da cifose e lordose no paciente através da análise de um conjunto de fotos, bem como os métodos para os limites para a taxa de crescimento do módulo de previsão dos ângulos da cifose e lordose nas próximas fotos obedecendo-se a periodicidade. Os resultados se mostraram compatíveis com o esperado.

CAPÍTULO 5 – CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

5.1 Introdução.

Neste capítulo serão apresentadas a conclusão deste trabalho e algumas sugestões de trabalhos futuros.

5.2 Conclusão.

A importância do diagnóstico como método preventivo para problemas mais sérios de coluna é indiscutível, quer para acompanhar o desenvolvimento de problemas existentes, quer para resolver problemas ainda não detectados. O sistema proposto neste trabalho, tem como propósito auxiliar o paciente a identificar o momento em que a cifose e a lordose estão se instalando em sua coluna. Momento em que o sistema aconselhará ao paciente que procure um profissional da área de saúde. Dessa forma espera-se evitar problemas de postura decorrentes da cifose e lordose que gere a perda de mobilidade ou o que impeça o paciente de realizar atividades simples de seu dia a dia.

Os resultados observados, com o sistema proposto mostraram-se promissores. Porém, para que esses resultados sejam considerados ainda será necessário submeter ao modelo proposto uma base de dados real e avaliar se os resultados obtidos são próximos dos existentes. O que foi impossível na presente pesquisa, pela inexistência de tal base de dados.

Apesar deste inconveniente, sugere-se a quem for usar o modelo proposto que utilize a taxa de crescimento dos ângulos, limitada pelo valor do menor ângulo presente nas fotos da base de dados. Isso porque esta taxa fez com que a evolução dos ângulos da coluna pelo módulo de previsão fossem os mais lentos em todas as simulações, dando tempo assim para que possíveis ruídos nos dados, resultantes de fotos mal tiradas não tenham uma grande repercussão no sistema.

As contribuições desse trabalho foram gerar um modelo evolutivo promissor para o acompanhamento da evolução dos ângulos da cifose e lordose de baixo custo, fácil uso e que ser realizado em qualquer local sem a necessidade de um profissional da área de saúde.

5.3 Trabalhos Futuros.

Aplicar o modelo proposto a uma base de dado de ângulos de cifose e/ou lordose real. Analisar o comportamento do modelo proposto a outros problemas de coluna, que tenham uma função de cálculo de seu ângulo. Implementar outros algoritmos evolutivos ou bio inspirados, para resolver o mesmo problema e comparar a qualidade do resultado obtido com a do modelo proposto.

REFERÊNCIAS.

ANTONISSE, H. J. A new interpretation of schema notation that overturns the binary encoding constraint. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GENETIC ALGORITHMS, 3., 1989, Fairfax. Proceedings... Fairfax: Mason University, 1989.

Antonisse. H.J. Um algoritmo genético baseado em gramática. Em Gregory JE Rawlings, editor, Foundations of genetic algorithms, pages 193-204. Morgan Kaufmann, San Mateo, 1991.

Arabas, J., Michalewicz, Z., e Mulawka, J., *GAVaPS - a Genetic algorithm with Varying Population Size*, Technical Report 001-1994, Departamento de Ciência da Computação, University of North Carolina, Charlotte, 1994.

BARAÚNA, M.A.; CANTO, R.S.T.; SANCHEZ, H.M.; BUSTAMANTE, J.C.F; Validade e confiabilidade intra-indivíduo do cifolordômetro na avaliação da convexidade torácica. Rev Bras Fis. v. 9(3): p. 319-25, 2005.

BROETZ D, EICHNER M, GASSER T. Radicular and Nonradicular Back Pain in Parkinson's Disease:A Controlled Study. Movement Disorders, 2007.

Cazac, C, Radu, G.; Telesurgery - uma abordagem interdisciplinar eficiente usada para melhorar o sistema de saúde. Journal of Medicine and Life. 2014

Calias-Germain, B.; Anatomia para o movimento. São Paulo: Manole, 1992.

Cipriano, J.J. Photographic manual of regional orthopaedic and neurological tests. 3.ed. Baltimore, Williams & Wilkins, 1997.

CORTE, Ana Carolina Ramos e; HERNANDEZ, Arnaldo José. TERMOGRAFIA MÉDICA INFRAVERMELHA APLICADA À MEDICINA DO ESPORTE. Rev Bras Med Esporte, São Paulo, v. 22, n. 4, p. 315-319, Aug. 2016

DE JONG, K. A. An Analysis of the Behavior of a Class of Genetic Adaptive Systems. PhD thesis, University of Michigan, 1975.

Duda RO, Shottliffe EH. Expert system research. *Science* 1983; 220: 261-8. 7.
Slozovitz P, Patil R, Schwartz WB. Artificial intelligence in medical diagnosis. *Ann Intern Med* 1988.

Duarte M., Ferreira E.A., Maldonado E.P., Freitas A.Z. 2005.

DUTTON, Mark. FISIOTERAPIA ORTOPÉDICA: Exame, avaliação e intervenção. Ed. Artmed, Porto Alegre, 2006.

Fernandes RCP, Carvalho FM. Doença do disco intervertebral em trabalhadores da perfuração de petróleo. *Cad Saude Publica*. 2000.

Fogel, DB e A. Ghozeil (1998). O teorema do esquema e a má alocação de tentativas na presença de efeitos estocásticos. In: Programação Evolutiva VII: Proc. da 7ª Ann. Conf. on Evolutionary Programming (VW Porto, N. Saravanan, D. Waagen e AE Eiben, Eds.). Springer. Berlin, 1998.

GELB, D.E.; LENKE, L.G.; BRIDWELL, K.H.; BLANKE, K.; McENERY, K.W. Na analysis of sagittal spinal alignment in 100 asymptomatic middle and older aged volunteers. *Spine*, v. 20, n. 12, p. 1351-8, June 1995.

GIBSON J.N., GRANT I.C., WADDELL G., et al. The Cochrane review of surgery for lumbar disc prolapse and degenerative lumbar spondylosis. *Spine*, 1999.

GOLDBERG, D. E. Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning. EUA: Addison-Wesley, 1989.

GOODFELLOW, I.; BENGIO, Y.; COURVILLE, A. Deep Learning Cambridge: MIT Press, Disponível em: <http://www.deeplearningbook.org>, 2016.

Hagen KB, Holte HH, Tambs K, Bjerkedal T. Socioeconomic factors and disability retirement from back pain: a 1983-1993 population-based prospective study in Norway. *Spine*. 2000.

Hamilton, O teorema da função inversa de Nash e Moser (nova versão), pré-impressão, Cornell University, p. 294. 1982.

HIGH, R. The era of cognitive systems: An inside look at ibm watson and how it works. IBM Corporation, Redbooks, 2012.

Hillestad, R., Bigelow, J., Bower, A., Girosi, F., Meili, R., Scoville, R., et al. Can electronic medical record systems transform health care? Potential health benefits, savings, and costs. *Health Affairs*, 24(5), 1103—1117, 2005.

Holland, J., *Adaptation in Natural and Artificial Systems*, University of Michigan Press, Ann Arbor, 1975.

Hsu, Y. (1995). Item parameter estimation of a two-dimensional generalized MIRT model (Doctoral dissertation, University of Illinois, 1995). *Dissertation Abstracts International*, 57, 1584.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2002. Pesquisa Nacional: síntese de indicadores Rio de Janeiro: IBGE 2019.

J. H. Holland, *Adaptation in Natural and Artificial Systems: an introductory analysis with applications to biology, control, and artificial intelligence*, MIT Press 1975.

Kazantsev, A; Ponomareva, J. ; Kazantsev, P. ; Digilov, R ; Huang, P.; Desenvolvimento de uma rede de saúde eletrônica para vigilância domiciliar da gravidez com base em inteligência artificial. *Anais da Conferência Internacional IEEE-EMBS em Informática Biomédica e de Saúde*, 2012.

KENDALL, F. P.; MCCREARY, E.K.; PROVANCE, P.G. *Músculos Provas e Funções*, São Paulo: Manole, 4ª ed., 1995.

KOROVESSIS, P.; PETSINIS, G.; PAPAZISIS, Z.; BAILLOUSIS, A. Prediction of thoracic kyphosis using the De Brunner kyphometer. *J Spin Disor.* 14(1): 67-72, 2001.

Kurutz, M. Finite element modeling of the human lumbar spine. In: MORATEL, D. (Ed.). Finite element analysis. Rijeka: Intech, Cap. 9, p. 209-236. 2010.

LEAPE, L., [et al] - The Nature of Adverse Events in Hospitalized Patients. The New England Journal of Medicine , 324,377-384. 1991.

LUNDON, K.; LI, A.; BIBERSHTEIN, S. Interrater and Intrarater Reliability in the Measurement of Kyphosis in Postmenopausal Women With Osteoporosis. Spine. 23(18): 1978-1985, 1998.

McGILL, S.M.; HUGHSON, R.L.; PARKS, K. Changes in lumbar lordosis modify the role of the extensor muscles. Clin. Biomech., Bristol, v. 15, n. 10, p. 777-80, Dec. 2000.

MANNION, A.; KNECHT, K.; BALABAN, J. E.; GROB, D. A new skin-surface device for measuring the curvature and global and segmental ranges of motion of the spine: reliability of measurements and comparison with data reviewed from the literature. Eur Spine J. 13: 122-36, 2004.

Menezes Jr., J. et al. "InteliMED: uma experiência de desenvolvimento de sistema móvel de suporte ao diagnóstico médico". Revista Brasileira de Computação Aplicada. Passo Fundo, v. 3, n. 1, p. 30-42, 2011.

MOREIRA, FLÁVIA; SOARES, JULIANA CORRÊA. OS BENEFÍCIOS DO MÉTODO PILATES EM PACIENTES COM HIPERCIFOSE. REVISTA UNINGÁ, [S.I.], v. 52, n. 1, jun. 2017. ISSN 2318-0579. Disponível em: <<http://revista.uninga.br/index.php/uninga/article/view/1396>>. Acesso em: 20 outubro. 2020.

Natour, J., e colaboradores. Coluna vertebral. 1. ed., 001 etera Editora, 2004.

NORVIG, P.; RUSSEL, S. Artificial Intelligence: A Modern Approach. Upper Saddle River, NJ, EUA: Prentice Hall, 1995.

Oliveira, MB; Romão Jr., JE; Zatz, R. End-stage renal disease in Brazil: epidemiology, prevention, and treatment. *Kidney Int.* 2005.

PANJABI, M.M; WHITE, A.A. III. Basic biomechanics of the spine. *Neurosurgery*, v. 7, n. 1, p. 76-93, July 1980.

Patterns and Images (SIBGRAPI) 30^a Conferência SIBGRAPI sobre, Niterói, Brasil, pp. 367 - 373, IEEE. 2017.

RIBEIRO, C. Z. P.; AKASHI, P. M. H.; SACCO, I. C. N.; PEDRINELLI, A. Relationship between postural changes and injuries of the locomotor system in indoor soccer athletes. *Rev Bras Med Esporte*, n. 9, 2003.

SACCO, ICN et al. Confiabilidade da fotogrametria em relação a goniometria para avaliação postural de membros inferiores. *Rev. bras. fisioter.*, São Carlos, v. 11, n. 5, p. 411-417, Oct. 2007.

SAR, C.; ERALP, L. Three-stage surgery in the management of severe rigid angular kyphosis. *Eur Spine J.*, n. 11: 107-14, 2002.

SHORTLIFFE, E. H. (Org). *Rule-Based Expert Systems: the MYCIN Experiments of the Stanford Heuristic Programming Project*. California: Addison-Wesley. p. 3-19, 1984.

Sobotta, *Atlas de Anatomia Humana*. Vol. 1 e 2. 22 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2002.

TANG, K. S.; MAN, K. F.; KWONG, S.; HE, Q. Genetic algorithms and their applications. *IEEE Signal Processing Magazine*, v. 13, 1996.

TEIXEIRA, F.A. Validação do método flexicurva para avaliação angular da cifose torácica. Dissertação (Mestrado em Educação Física) – Universidade Católica de Brasília, Brasília, 2006.

Tanoumaru, Julio. Motivação, fundamentos e aplicações de algoritmos genéticos II Congresso Brasileiro de Redes Neurais, Curitiba, 1995.

Vogado, LHS, Veras, RDMS, Andrade, AR, Araujo, FHDD, e Silva, RRV, Aires, KRT. Diagnosticar leucemia em imagens de esfregaço de sangue usando um conjunto de classificadores e redes neurais convolucionais pré-treinadas. In: Graphics, 2017.

Veronezi, C. C. D.; et al.; Análise computacional para auxílio ao diagnóstico de osteoartrite de coluna lombar baseado em redes neurais artificiais. Revista Brasileira Ortopedia. Vol.46 n^o2. São Paulo May/Apr. 2011.

WIESEL SW, et al.: The lumbar spine. 2nd ed. Philadelphia, W.B. Saunders, 1996.

WILLNER, S. Spinal pantograph: a non-invasive technique for describing kyphosis and lordosis in the thoraco-lumbar spine. Acta Orthop Scand. n. 52, p. 525-9, 1981.

WINDSOR, R.E., Lox, D.M. Soft tissue injuries. Diagnosis and treatment. Philadelphia, Halney & Belfus, 1998

www.apamed.com.br/vicon.php. Acessado em 18 março de 2019.

www.getbackscan.co.uk/backscan-future-spinal-assessment (Acessado em 4 março de 2019).

www.google.com Acessado em 18 de junho de 2021.

www.luzimarteixeira.com.br/wp-content/uploads/2009/06/metodos-em-avaliacao-posturalx.pdf. Acessado em 21 de março de 2019.

www.pesquisa.ufabc.edu.br/bmclab/sapo/ Acessado em 14 de março de 2020.

www.proterapi.dk/vare/mvs-pedi-scoliometer-scoliosis-screening Acessado em 17 de março de 2019.

www.todocoleccion.net/antiguedades-tecnicas/pantografo-perfectionne-ampliacion-o-reduccion-dibujos-mediante Acessado em 22 de março, 2019.

www.luzimarteixeira.com.br/wp-content/uploads/06/metodos-em-avaliacao-posturalx.pdf, 2009.

www.semanticscholar.org/paper/Avalia%u00e7%u00e3o-da-concavidade-lombar-pelo-m%u00e9todo-e-pela-Souza-Ferreira. Acessado em 20 de março de 2020.

www.terapiamanual.com.br/site/ Acessado em 15 de março de 2020.