UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE ABAETETUBA
FACULDADE DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
CURSO DE LICENCIATURA EM MATEMÁTICA

BRENDA RAFAELE DA CONCEIÇÃO PAIVA
IGOR MENON BASSANI

MONITORAMENTO DA CURVA GLICEMICA UTILIZANDO A SPLINE CÚBICA

Abaetetuba - Pará
2022

BRENDA RAFAELE DA CONCEIÇÃO PAIVA
IGOR MENON BASSANI

MONITORAMENTO DA CURVA GLICEMICA UTILIZANDO A SPLINE CÚBICA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia da Universidade Federal do Pará, *Campus* Universitário de Abaetetuba polo Acara – Pará, como requisito final para obtenção do grau de Licenciado Pleno em Matemática, sob orientação do Prof. Dr. Manuel de Jesus dos Santos Costa.

Abaetetuba – Pará
2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

P142m Paiva, Brenda Rafaele da Conceição.
Monitoramento da curva glicêmica utilizando a spline cúbica / Brenda Rafaele da Conceição Paiva, Igor Menon Bassani . — 2022.
35 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Manuel de Jesus dos Santos Costa
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Pará, Campus Universitário de Abaetetuba, Curso de Matemática, Abaetetuba, 2022.

1. Spline cúbica . 2. Diabetes . 3. Glic . 4. Curva glicêmica . I. Título.

CDD 518.0285

BRENDA RAFAELE DA CONCEIÇÃO PAIVA

IGOR MENON BASSANI

MONITORAMENTO DA CURVA GLICEMICA UTILIZANDO A SPLINE CÚBICA

Este trabalho de conclusão de curso foi julgado e aprovado, para a obtenção do título de Licenciado Pleno em Matemática pelo corpo docente da Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia da Universidade Federal do Pará, Campus Universitário Abaetetuba Polo Acara - Pará.

Abaetetuba, 02 de janeiro 2023.

Manuel de Jesus dos S. Costa

Prof. Dr. Manuel de Jesus dos Santos Costa
Orientador– FACET/Campus de Abaetetuba/UFPA

Rômulo Correa Lima

Prof. Dr. Rômulo Corrêa Lima
Membro – FACET/Campus de Abaetetuba/UFPA

José Francisco da S. Costa

Profa. Dr. José Francisco Silva da Costa
Membro – FADECAM/Campus de Abaetetuba/UFPA

AGRADECIMENTOS

Brenda Rafaele da Conceição Paiva

Agradeço inicialmente a Deus que em momentos de dificuldades, pude me apegar na fé e com isso me estabelecer e unir forças para prosseguir.

meus pais **Sônia Maria da Conceição** e **Lucivaldo Mendonça de Paiva**, irmãos e familiares, que me incentivaram nos momentos difíceis e que compreenderam minha ausência enquanto me dedicava a realização do curso.

A família Bassani que após um período do curso, me acolheram como se fosse da família e me deram suporte no município durante o resto do curso. Agradeço ao Igor Menon Bassani que esteve junto comigo como namorado e parceiro de classe cujo acompanhou minhas dificuldades de perto e foi de suma importância seu apoio para ultrapassar os obstáculos durante o curso.

Aos professores **Osvaldo Barros**, **Genivaldo Correa**, **Aubedir Seixas**, **Silvana Gomes**, pelos ensinamentos e correções que certamente seguiram em minha memória como aprendizado, através disso me fez permitir o melhor desempenho no meu processo de formação e profissional.

Ao meu orientador **Prof. Dr. Manuel de Jesus dos Santos Costa**, por aceitar conduzir o trabalho e indicar a direção correta que deveria tomar e pelas valiosas contribuições durante todo processo.

Também quero agradecer aos meus amigos do curso que me acompanharam nessa caminhada, que estiveram ao meu lado durante os últimos anos, pela amizade e pelo apoio demonstrado ao longo de todo período da faculdade.

A todos que participaram diretamente e indiretamente no desenvolvimento desse trabalho de pesquisa, enriquecendo meu processo de aprendizado.

AGRADECIMENTOS

Igor Menon Bassani,

Começo agradecendo primeiramente meus pais **Anamaria Menon Bassani** e **Arquimedes Bassani**, heróis que me deram apoio e incentivos nos momentos de desanimo que acontecem durante a nossa vida acadêmica.

A UFPA, pela oportunidade de proporcionar um curso na nossa cidade de Acará, onde dificilmente temos acesso ao um ensino de qualidade imensa que a instituição oferece.

Sou extremamente grato a todos os meus professores que me ajudaram no meu progresso acadêmico, e especialmente ao **Prof. Dr. Manuel de Jesus dos Santos Costa**, que, apesar das dificuldades de pandemia, distância, foi a responsável por orientar meu trabalho. Obrigado por esclarecer inúmeras dúvidas e dar o incentivo necessário.

A minha amiga e namorada Brenda Rafaele, que sem ela eu provavelmente teria abdicado do curso em algum ponto, porém sempre me incentivou e não me deixou desistir.

E por fim, aos colegas de classe, Lisandra, Weverton, Marcela, Vitinho, Thaisla, Tarcia pelas noites sem sono nos grupos de estudo, sem dúvidas foram essenciais para que eu chegasse a esse momento.

A Matemática é a rainha das ciências

(Carl Gauss)

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi utilizar a Spline Cúbica como ferramenta auxiliar no monitoramento de uma curva glicêmica utilizando dados adquiridos de uma pessoa portadora de diabetes, atrelado a um aplicativo denominado Glic. Neste contexto, foram apresentados os conceitos sobre diabetes, abordando os tipos, hemoglobina glicada, dieta e exercícios físicos. Em seguida, foi abordado uma curva de aproximação denominada Spline Cúbica. Uma aplicação foi desenvolvida, a qual analisou-se o comportamento da Spline Cúbica na interpolação dos dados coletados utilizando o Glic. Ao analisar os resultados, foi possível concluir que a Spline Cúbica se mostra eficiente no processo de tornar denso um conjunto de dados, apresentando uma imagem geométrica suavizada indicando uma menor variação nos mesmos ratificado pelo parâmetro estatístico desvio padrão, proporcionando desta maneira uma análise mais fidedigna em relação aos valores da hemoglobina glicada vinculada as taxas glicêmicas utilizadas.

Palavras-chave: Spline Cúbica. Diabetes. Glic. Curva Glicêmica.

ABSTRACT

The objective of this article was to use the Cubic Spline as an auxiliary tool in the monitoring of a glycemic curve using data acquired from a person with diabetes, linked to an application called Glic. In this context, the concepts of diabetes were presented, addressing the types, glycated hemoglobin, diet and physical exercises. Then, an approximation curve called Cubic Spline. An application was developed, which analyzed the behavior of the Cubic Spline in the interpolation of data collected using Glic. By analyzing the results, it was possible to conclude that the Cubic Spline is efficient in the process of making a data set dense, presenting a smoothed geometric image indicating a smaller variation in them ratified by the statistical parameter standard deviation, thus providing a more reliable analysis in relation to the values of glycated hemoglobin linked to the glycemic rates used.

Keywords: Cubic Spline. Diabetes. Glic. Glycemic Curve.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO 10

1 Diabetes 12

1.1 O que é diabetes 12

1.2 Hemoglobina Glicada 14

1.3 Dieta e exercícios como forma de tratamento 15

2 Função spline 16

2.1 Função Spline 16

2.2 Spline Cúbica interpolante 16

3 Glic 22

4. Aplicação 26

4.1 Descrição do problema 26

4.2 Aplicação dos dados no Glic 26

4.3 Dados interpolados via spline cúbica aplicados no Glic. 29

5 ANÁLISE do resultado 32

Conclusão 33

Referência 34

INTRODUÇÃO

A doença diabetes é tão antiga quanto a própria humanidade, no passado a primeira referência da diabetes foi por meio de um papiro Erbers, manuscrito da época de 1500 a.C., que consistia em um documento médico egípcio, descoberto pelo alemão Gerg Erbers em 1872 (PIRES; CHACRA, 2007, p. 1). Durante o século XIX surgiram experimentos relacionados as pesquisas sobre diabetes, dentre elas métodos radicais na tentativa de diminuir os efeitos da doença, onde pacientes eram trancados por dias com dietas restritas (GOMES, 2015, p. 1).

Nos dias atuais, como avanço das pesquisas, descobriu-se que a doença é causada pela produção insuficiente ou má absorção da insulina, com isso a diabetes pode causar o aumento de glicemia e altas taxas podem levar complicações, dentre os casos mais graves pode levar a morte (INTERNATIONAL DIABETES FEDERATION, 2021). Existem atualmente, no Brasil, mais de 13 milhões de pessoas vivendo com a doença, o que representa 6,9% da população (SOCIEDADE BRASILEIRA DE DIABETES, 2020).

Perante o exposto, o presente trabalho vai utilizar uma técnica numérica denominada spline cúbica, que é uma “função de regressão segmentada, unidos por pontos chamado de nós, com capacidade de melhorar a curvatura” (GOMES, L; *et al*., 2017. P 1).

Diante desse cenário, o desenvolvimento do trabalho vem para minimizar a forma de obter esses dados glicêmicos, pois conseguir de forma convencional, precisa ter um investimento financeiro alto, podendo também estressar o paciente com muitas retiradas de coletas glicêmicas durante o dia, tornando desagradável. Assim, o objetivo da pesquisa é usar a técnica numérica para otimizar o processo de coleta de dados, através da interpolação segmentada por meio da spline cúbica, unindo ao aplicativo Glic já com dados previamente coletados, associando a outras informações que regem a spline cúbica e inserindo novos dados obtidos através do Matlab, visando se houve alteração, mas sem a necessidade de estressar o paciente e com um custo financeiro mais baixo.

Dessa forma, esta pesquisa foi estruturada nos seguintes tópicos: o conceito sobre o que é diabetes e suas sub informações; função spline; spline

cúbica interpolante; aplicativo Glic; aplicações dos dados glicêmicos no Glic; resultados da pesquisa; e a conclusão deste estudo.

1 DIABETES

1.1 O que é diabetes

Diabetes é uma doença crônica que ocorre afetando aproximadamente 171 milhões de indivíduos em todo o mundo, em um recente estudo da Organização Mundial de Saúde (OMS) estimou que até 2030 o número de indivíduos com diabetes será aproximadamente 366 milhões (World Health Organization, 2006).

O diabetes é um distúrbio no metabolismo da glicose do organismo, no qual a glicose presente no sangue passa pela urina sem ser usada como um nutriente pelo corpo (GUYTON; HALL, 1997 apud LUCENA, 2007, p.11).

O hormônio insulina, produzido pelo pâncreas, ajuda a glicose das refeições a entrar nas células para ser utilizada como energia pelo corpo. No entanto, em alguns casos, o corpo produz pouca ou nenhuma insulina, o que faz com que a glicose permaneça apenas no sangue e não seja distribuída para as células.

> Portadores de diabetes necessitam de insulina para manter níveis adequados de glicose no sangue. As terapêuticas com insulina têm um papel significativo no tratamento da diabetes. Um bom controlo glicémico é importante para reduzir o risco de complicações da diabetes a longo prazo e garantir uma boa qualidade de vida. A autogestão da diabetes exige uma consciencialização sobre a importância das modificações no estilo de vida, autocontrole da glicemia e métodos de administração de insulina. (SOUSA; CALESTINO; CARVALHO, 2019)

Nesse sentido, com o tempo, esse acúmulo de glicose pode causar graves problemas de saúde. Vale lembrar que a diabetes não tem cura, mas existem maneiras de controlá-la e manter a saúde.

O diabetes está associado ao aumento da mortalidade e ao alto risco de desenvolvimento de complicações micro e macro vasculares, como também de neuropatias. Pode resultar em cegueiras, insuficiência renal e amputações de membros, sendo responsável por gastos excessivos em saúde e substancial redução da capacidade de trabalho e da expectativa de vida (BATISTA; 2005 apud LUCENA, 2007, p.11)

Existem diferentes tipos de diabetes, sendo os mais comuns a diabetes tipo 1, tipo 2 e diabetes gestacional.

A diabetes tipo 1, é uma doença crônica podendo acometer diferentes faixas etárias, sendo mais comumente diagnosticada em crianças, adolescentes e adultos jovens. Corresponde a cerca de 5-10% dos casos de diabetes o corpo não produz insulina e o sistema imunológico ataca e destrói as células do pâncreas que produzem insulina. Pessoas com este tipo de diabetes precisam tomar insulina todos os dias para se manterem vivas. (GROSSI; PASCALI, 2009, p.7-8).

Na Diabetes tipo 2 o corpo produz pouca ou nenhuma insulina, e a intolerância à glicose têm se tornado um dos distúrbios mais comuns em clínica médica e estão frequentemente associados à síndrome metabólica, que se caracteriza por resistência à insulina, obesidade e hipertensão arterial. Ela pode ser adquirida a qualquer idade, sendo mais comum se manifestar em pessoas de meia-idade ou mais velhas, este é o tipo mais comum de diabetes (ARAÚJO; BRITO; CRUZ; 2000).

A diabetes gestacional se desenvolve em algumas mulheres durante a gravidez. Na maioria dos casos, este tipo de diabetes desaparece após o nascimento do bebê, mas caso tenha desenvolvido diabetes gestacional, ficará mais propenso a desenvolver diabetes tipo 2 ao longo da vida. (NIDDKD[1], 2019).

[1] National Institute of Diabetes and Digestive and Kidney Diseases

1.2 Hemoglobina Glicada

A Hemoglobina Glicada, chamada de hemoglobina glicosilada ou glico-hemoglobina, é reconhecida pela sigla $HbA_{1C,}$ e mais recentemente apenas como A1C, se refere a um conjunto de substâncias formadas com base em reações entre a hemoglobina A (HbA) e vários carboidratos. Apesar de ser aplicada desde 1958 como um instrumento de diagnostico na análise de controle glicêmico em pacientes diabéticos, a utilização da HbA_{1c} passou a ser cada vez mais adotada e aceita pela comunidade cientifica após 1993, posteriormente a dois estudos clínicos que são considerados os mais importantes da época validarem a avaliação do impacto do controle glicêmico sobre as complicações crônicas do diabetes mellitus (PIMAZZONI *et al*., 2009, p 1).

Na atualidade a manutenção do nível de HbA_{1C} abaixo de 7% é apontada como uma das principais metas no controle do diabetes. Os dois estudos supra referidos, apontam que as complicações crônicas começam a se desenvolver quando os níveis de HbA_{1C} estão estabelecidos permanentemente acima de 7%. Alguns grupos de médicos recomendam, inclusive, metas terapêuticas mais rígidas de 6,5%, a Tabela 1 mostra as taxas de normalidade dos níveis de HbA_{1C} (PIMAZZONI *et al*., 2009, p 31).

Tabela 1 – Indicação de níveis de diabetes em relação a HbA_{1C}

	HbA_{1C} (%)	Glicemia média estimada
Normal	< 5,7%	70 – 126
Pré-diabetes	> 5,7% < 6,4%	126 – 140
Diabetes	> 6,4%	> 140

Fonte: adaptado de Organização Mundial da Saúde (OMS), 2019

1.3 Dieta e exercícios como forma de tratamento

Dieta e exercícios físicos são importantes para manter a saúde em caso de diabetes. Além de diversos outros benefícios que um planejamento alimentar e a prática de atividade física podem trazer para a saúde, para um diabético também ajudam a manter os níveis de glicose no sangue saudáveis. Alimentação adequada e exercícios físicos ajudam a manter os níveis de glicose, pressão arterial e colesterol saudáveis, promovem perda de peso ou manutenção do peso, previnem e atrasam problemas decorrentes da diabetes, aumentam a sensação de bem-estar e proporcionam mais energia no dia a dia. Assim observa-se as seguintes indicações:

> A dieta para o diabético deve ser individualizada, ou seja, cada paciente tem que ter uma alimentação ajustada para suas necessidades, de acordo com idade, sexo, condições socioeconômicas, massa corporal, estado metabólico, nível de atividade física, doença intercorrentes e a resposta do seu organismo aos medicamentos que faz uso. (Sociedade Brasileira de Diabetes,2003)

Quanto ao consumo de alimentos, é possível continuar comendo as refeições preferidas, desde que em porções menores e com menos frequência, sempre orientado pelo médico responsável pelo plano alimentar. A chave para uma dieta saudável em pessoas com diabetes é a variedade de alimentos saudáveis de todos os grupos alimentares.

Como dito anteriormente exercícios físicos são de enorme ajuda para controle de diabetes, realizar uma atividade física, mesmo que de forma leve, pode converter em grande auxílio para prevenção ou agravamento da doença. Recomenda-se começar com exercícios leves, tais como caminhar enquanto fala ao telefone; limpar a casa, lavar o carro; trocar elevadores pelas escadas; andar em praças com amigos ou familiares. Caso a saúde permita, fazer exercícios aeróbicos, como andar de bicicleta; subir escadas; natação, dança, praticar algum esporte como futebol, vôlei etc. Ou até mesmo ir para academia para prática de musculação. (NIDDKD, 2019).

2 FUNÇÃO SPLINE

2.1 Função Spline

Spline é uma função definida em parte por polinômios, ao invés de modelar um conjunto de observações por um único polinômio, escolhe-se pontos distintos no intervalo de observações chamado de nós e é definido um polinômio para cada intervalo, de forma a modelar curvas complexas por polinômios mais simples sem variações abruptas. (JÚLIA; TARSO, 2018, p. 5).

Assim, o método consiste em aproximar a função de forma tabelada em cada subintervalo $[x_{i,}x_i + 1]$, i = 0, 1, ..., $n - 1$, por um polinômio de grau p, com algumas imposições sobre a função spline. Segundo Lopes e Costa (2017, p.18) ao considerar uma função $f(x)$ tabelada nos pontos $x_0 < x_1 < \cdots < x_n$, define-se a função $S_p\ (x)$, denominada spline interpolante de grau p com nós nos pontos $x_i, i = 0,1,\ldots,n$, satisfazendo as seguintes condições:

a) Em cada subintervalo $[x_{i,}x_i + 1]$, $i = 0,1,\ldots,(n-1), S_p\ (x)$ é um polinômio de grau p, representado por $S_p\ (x)$;
b) $S_p(x)$ é contínua e tem derivada contínua até ordem (p − 1) em $[x_0, x_n]$;
c) $S_p(x_i) = f\ (x_i), i = 0, 1, \ldots, n.$

2.2 Spline Cúbica interpolante

Uma spline cúbica $S_3\ (x)$ é uma função polinomial continua por partes e de grau menor ou igual a 3 em cada uma delas. Cada parte $S_k\ (x)$ está definida no intervalo $[x_{k-1}, x_k]$, com k percorrendo o conjunto $\{1,2,3,\ldots n\}$. A vantagem de se interpolar pontos no plano com splines cúbicas é que, como as expressões que a compõem são, no máximo, de grau 3, ela terá as derivadas de primeira e segunda ordens contínuas, evitando que picos sejam formados e que mudanças bruscas de curvatura sejam sofridas nos nós (ou pontos). Ou seja, segue-se suavizando na transição de um nó para outro (DOMINGUES et al.; GONGALVES; BRAZ; PEREIRA, 2014)

Nesse sentido, as splines cúbicas são funções mais comuns e tornam-se mais suaves quando se encaixam os dados, dessa forma definindo matematicamente por dois ou mais pontos de controle, e os pontos de controles

que ficam na curva. Além disso, assim que usados para interpolação não tem uma conduta oscilatória, que tem uma característica de uma interpolação polinomial de alto grau para interpolar pontos (GOMES, Lorrayne; *et al*, 2017)

Supondo que $f(x)$ esteja tabelada nos pontos $x_i, i = 0, 1, 2, \ldots, n$ a função $S_3(x)$ de $f(x)$ nos nós $x_i, i = 0, 1, 2, \ldots, n$ se existem n polinômios de grau 3, $S_k(x), k = 1,2,\ldots,n$ tais que as condições abaixo sejam satisfeitas: (LOPES; COSTA, 2017, p. 19)

I) $S_3\,(x) = s_k\,(x)\, para\; x \in [x_{k-1}, x_k], k = 1,2\ldots,n;$

II) $S_3\,(x_i) = f(x_i), i = 1, 2, \ldots, n;$

III) $S_3\,(x_k) = s_{k+1}(x_k), k = 1, 2, \ldots, (n-1);$

IV) $S'_k\,(x_k) = s'_{k+1}(x_k), k = 1, 2, \ldots, (n-1);$

V) $S''_k\,(x_k) = s''_{k+1}\,(x_k), k = 1, 2, \ldots, (n-1);$

De forma geral, os polinômios de grau 3 $S_k\,(x)$ podem ser representados do seguinte modo.

$$\mathrm{S_k\,(x) = a_k\,(x - x_k)^3 + b_k\,(x - x_k)^2 + c_k\,(x - x_k) + d_k, k = 1, 2, \ldots, n} \qquad (1)$$

Assim, o cálculo de $S_3(x)$ exige a determinação de 4 coeficientes para cada k, num Total de $4n$ coeficientes, a saber: $a_1, b_1, c_1, d_1, a_2, b_2, c_2, d_2 \ldots, a_n, b_n, c_n, d_n$. A seguir, ver-se-á como determiná-los.

Impondo as condições para que $S_3\,(x)$ seja spline cúbica interpolante de $f\,(x)$ em $x_0, \ldots, x_n$ tem-se:

- A função $S_3(x)$ resulta da junção dos polinômios de grau $k, S_k(x)$;
- $(n+1)$ condições para que $S_3(x)$ interpole $f(x)$ nos nós;
- $(n-1)$ condições para que $S_3\,(x)$ esteja bem definida nos nós, ou seja, que esteja garantida a continuidade de $S_3\,(x)$ em $[x_0, x_n]$;
- $(n-1)$ condições para $S'_3\,(x)$ seja continua em $[x_0, x_n]$;
- $(n-1)$ condições para que $S''_3\,(x)$ seja continua $[x_0, x_n]$;

Em suma, há um total de $(n + 1 + 3(n-1)) = 4n - 2$ condições. Portanto, há duas condições em aberto. Essas condições podem ser impostas de acordo com as informações físicas sobre o problema. (Ruggiero 1996 apud LOPES, 2017, p.19-23):

De acordo com a definição dada, para cada $S_k(x)$, a condição (I) da definição de $S_3(x)$ está automaticamente satisfeita.

Para impor a condição (II) monta-se para cada k = 1, 2, ⋯ , n, em (1) a equação:

$$S_k\,(x_k\,) \;=\; d_k \;=\; f(x_k) \tag{2}$$

e, para o ponto inicial, usando (1) em (2):

$$s_1\,(x_0) \;=\; f\,(x_0) \;\rightarrow\; -\,a_1 h_1^3 - c_1 h_1 \;+\; d_1 \;=\; f(x_0) \tag{3}$$

onde se usa a notação, para $k \;=\; 1$ e,

$$h_k \;=\; x_k - \;x_{k-1} \tag{4}$$

A condição (III) é satisfeita, usando (2), para cada $k \;=\; 1,\ldots,(n-1)$, ao tomar $S_{k+1}(x_k) = f(x_k)$, ou seja:

$$-a_{k1+1}\,h_{k+1}^3 \;+\; b_{k+1}\,h_{k+1}^2 - c_{k+1}h_{k+1} + \;d_{k+1} \;=\; (x_k) \tag{5}$$

Para impor as condições (IV) e (V), precisa-se das derivadas das $S_k\;(x)$ em (1), dadas por:

$$S'_k(x) = 3a_k\;(x - \;x_k)^2 \;+\; 2b_k(x - \;x_k) \;+\; c_k \tag{6}$$

$$S''_k\;(x) \;=\; 6a_k\;(x - \;x_k) \;+\; 2b_k \tag{7}$$

Neste ponto, observa-se que $s''_k(x_k) \;=\; 2b_k$. Assim, cada coeficiente b_k pode ser escrito em função de $s_k''(x_k)$:

$$b_k\;\frac{S''_k(x_k)}{2} \tag{8}$$

Analogamente, como $s'_k(x_{k-1}) = -\,6a_k h_k \;+\; 2b_k$, pode-se também escrever a_k em função da derivada segunda nos nós, pois usando (8):

$$a_k \;=\; \frac{2b_k \;- S''_k\,(x_{k-1})}{6h_k} \;=\; \frac{S''_k(x_k) - S''_k(x_{k-1})}{6h_k} \tag{9}$$

E, impondo a condição (V), ou seja, $S''_k(x_{k-1}) = \;S''_{k-1}\;(x_{k-1})$, obtém-se para (9) a notação:

$$\frac{S''_k(x_k) - S''_{k-1}(x_{k-1})}{6h_k} \tag{10}$$

Observa-se que, no caso $k = 1$, é introduzida uma variável $s''_0\,(x_0)$ arbitrária.

Nota-se em seguida que já se expressou $a_k, b_k, e\ d_k$, então se pode usar (2), (8) e (10) para obter c_k também em função da derivada segunda nos nós. Dessa forma, partindo de (5), para $k = 1, 2, \ldots, n$, tem-se:

$$-a_k\, h_k^3 + b_k\, h_k^2 - d_k = f\,(x_{k-1})$$

$$c_k \frac{-f(x_{k-1}) - a_k h_k^3 + b_k h_k^2 + d_k}{h_k}$$

$$c_k = \frac{f(x_k) - f(x_{k-1})}{h_k} - (a_k h_k^2 - b_k h_k)$$

$$c_k = \frac{f(x_k) - f(x_{k-1})}{h_k} - \frac{[s''_k(x_k) - s''_{k-1}(x_{k-1})]}{6}\, h_k - \frac{s''_k(x_k)}{2} h_k \tag{11}$$

Ou seja

$$c_k \frac{f(x_k) - f(x_{k-1})}{h_k} - \frac{-2s''_k(x_k)h_k - s''_{k-1}(x_{k-1})h_k}{6} \tag{12}$$

Se, para facilitar a notação, usa-se:

$$S''_k\,(x_k) = g_k \tag{13}$$

e

$$(x_k) = y_k \tag{14}$$

obtém-se as fórmulas para determinar os coeficientes de $s_k(x)$

$$a_k = \frac{g_k - g_{k-1}}{6h_k} \tag{15}$$

$$b_k = \frac{g_k}{2} \tag{16}$$

$$c_k = \left[\frac{y_k - y_{k-1}}{h_k} + \frac{2h_k g_k + g_{k-1}h_k}{6}\right] \tag{17}$$

$$d_k = y_k \tag{18}$$

em função de $g_j = s''_j(x_j), j = 0,1, \ldots, n$, para $k = 1,2,\ldots,n$.

impondo agora a condição (IV) que ainda não foi utilizada, $S'_k\,(x_k) = s'_{k+1}\,(x_k), k = 1,2,\ldots,(n-1)$ se tem:

$$S'_k\,(x_k) \;=\; c_k \;=\; 3a_k - 1h_{k+1}^2 - 2b_{k+1}h_{k+1} \;+\; c_{k+1} \tag{19}$$

De onde vem

$$S'_k\,(x_k) = \; c_k \;=\; -3a_{k+1}h_{k-1}^2 + \; 2b_{k+1}h_{k+1} \tag{20}$$

e, usando (15), (16) e (17)

$$\frac{y_{k+1} - y_k}{h_{k+1}} + \frac{2h_{k-1}g_k h_{k+1}}{6}$$
$$= \frac{y_k - y_{k-1}}{h_k} + \frac{2h_k g_k + g_{k-1}h_k}{6} - 3\left(\frac{g_{k+1} - g_k}{6}\right)h_{k+1} + 2\left(\frac{g_{k+1}h_{k+1}}{2}\right). \tag{21}$$

Agrupando os termos semelhantes, para $k = \; 1, \ldots, (n-1)$,

$$\frac{y_{k-1} - y_k}{h_{k+1}} \;\; - \frac{(y_k - y_{k+1})}{h_k}$$
$$= \frac{1}{6}\,[h_k g_{k-1} + (2h_k + 3h_{k+1} - h_{k+1})g_k + (6h_{k+1} - 3h_{k+1} - 2h_{k+1})g_{k+1}] \tag{22}$$

Ou seja:

$$H_k G_{k-1} + \; 2(h_k + h_{k-1})g_k \; + h_{k+1}g_{k+1} \;=\; 6\left(\frac{y_{k+1} - \; y_k}{h_{k+1}} - \frac{y_k - \; y_{k-1}}{hk}\right) \tag{23}$$

Enfim, (23) é o sistema de equações lineares com $(n-1)$ equações ($k = 1, \ldots, (n-1))$ e $(n+1)$ incógnita: $g_0, g_1, \ldots, g_{n-1}, g_n$ e, portanto, indeterminado, na forma $A\,.X \;=\; B$:

$$X \;=\; \left(g_0, g_1, \ldots, g_{(n-1)}, g_n\right)^T \tag{24}$$

$$A = \begin{pmatrix} h_1 & 2(h_1 + h_2) & h_2 & \\ & h_2 & 2(h_2 + h_3) & h_3 \\ & \ddots & \ddots & \ddots \\ & h_{n-1} & 2(h_{n-1} + h_n) & h_n \end{pmatrix}_{(n-1)\times(n+1)} \tag{25}$$

e,

$$\mathrm{B} = 6\begin{pmatrix} \dfrac{y_2 - y_1}{h_2} & - & \dfrac{y_1 - y_0}{h_1} \\ \dfrac{y_3 - y_2}{h_3} & - & \dfrac{y_2 - y_1}{h_2} \\ \vdots & & \vdots \\ \dfrac{y_n - y_{n-1}}{h_n} & - & \dfrac{y_{n-1} - y_{n-2}}{h_{n-1}} \end{pmatrix}_{(n-1)\times 1} \tag{26}$$

Sobre a indeterminação do sistema (23), é necessário impor mais duas condições para resolvê-lo de forma única, conforme já comentado no início desta seção.

Algumas das alternativas para as duas condições em aberto são:

1) $S''_3(x_0) = g_0 = 0 \; e \; S''_3(x_n) = g_n = 0$, que é chamada spline natural. Esta escolha é equivalente a supor que os polinômios cúbicos nos intervalos extremos são lineares ou próximo de funções lineares.
2) $g_0 = g_1, g_n = g_{n-1}$, que é equivalente a supor que as cúbicas são aproximadamente parábolas, nos extremos.
3) Impor valores paras as inclinações em cada extremo, como por exemplo $S'_3\,(x_0) = C \; e \; S'_3\,(x_n) = D$, o que fornecerá as duas equações adicionais:

$$S'_1(x_0) = 3a_1h^2 - 2b_1\mathrm{h} + C_1 = \mathrm{C} \tag{27}$$

$$S'_n(x_n) = C_n = D \tag{28}$$

de posse da solução, é possível determinar $a_k, b_k, c_k, e \; d_k$, para cada $S_k(x)$.

3 GLIC

O Glic é o primeiro aplicativo para diabetes e controle de glicemia do Brasil, desenvolvido para auxiliar durante a rotina de cuidados com a diabetes por meio de diversas funcionalidades como exemplo: consulta e registros de carboidratos, cálculo de dose de insulina, funções como lembrete de medicamentos e registro de glicemia (GLIC, 2017).

Durante o decorrer do trabalho será mostrado o uso do aplicativo no celular e dados extras concebidos através do site do Glic, com informações de uma pessoa, que tem diabetes tipo 2, pois apesar de se tratar do mesmo software, a visualização de dados é apresentada de formas distintas de acordo com a plataforma utilizada. Dessa forma ao utilizar duas plataformas digitais diferentes, será possível incluir no primeiro momento dados glicêmicos obtidos através de um aparelho medidor e inserido no aplicativo via dispositivo celular e posteriormente outras informações que ficam mais visível como gráfico através do site, dessa maneira, será viável a utilização de todos os dados inserido na plataforma.

Assim, observa-se na Figura 1 a estrutura referente a área de interação inicial no aplicativo Glic, onde registra-se dados glicêmicos possibilitando a visualização gráfica. Na Figura 2 refere-se a aba para indicar o horário da glicemia e a dada exata, podendo ser atual ou passada. Por fim, é direcionado a uma terceira aba do aplicativo, que indica informar a glicemia computado durante o dia (ver, Figura 3), que por conseguinte é redirecionado a interface inical do aplicativo como mostra na Figura 1.

Figura 1 - Imagem ilustrativa da interface inicial do aplicativo glic.

Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

Figura 2 - Aba do aplicativo glic para inserir data e hora dos registros das taxas glicêmicas

Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

Figura 3 - Aba do aplicativo glic para inserir taxas glicêmicas

Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

Além de todas essas funcionalidades, o aplicativo permite o acompanhamento do dia a dia de quem tem diabetes e seus cuidadores, ele pode se conectar com equipe médica em tempo real, através de um prontuário eletrônico, permitindo decisões mais esclarecidas para o tratamento do diabetes (GLIC, 2017).

Ainda como informação, na Figura 4, o lado esquerdo apresenta detalhes da navegação do usuário, onde tem acesso a Tabela de resumo, que pode ser apresentado ao médico que faz acompanhamento, em relação ao lado direto, exibe-se o gráfico de padrões diários.

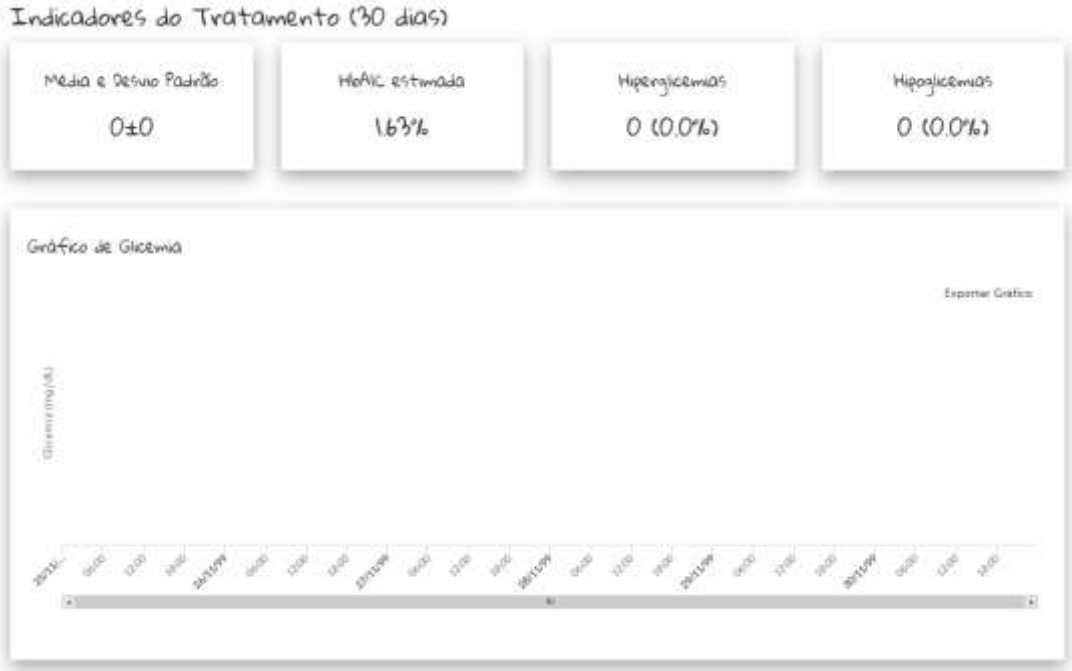
Figura 4 – Registros de funções no site Glic

Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

Portanto, ao usar o Glic o usuário vai acompanhar registros diários, medicamentos, instruções de alimentação tendo possibilidades de conexão com uma determinada equipe médica da plataforma, além disso ele oferece um guia no aplicativo com tabela nutricional com mais de mil e quinhentos alimentos para contagem de carboidratos. O Glic ainda gera relatórios e gráficos do tratamento. Assim, com esse desenvolvimento do software, os portadores de diabetes dispõem informações no aplicativo e ele coleta os dados e analisa para melhorar a qualidade de vida do portador de diabetes e faz também com que o utilizador tenha mais conhecimento sobre a doença.

Sendo assim, a ilustração da Figura 1 onde é apresentado a interface inicial do aplicativo é similar a Figura 5 onde mostra a interface inicial do site, onde apresenta uma melhor visualização do gráfico comparado ao seu aplicativo para smartfones.

Figura 5 – interface inicial no site Glic sem dados glicêmicos



Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

4. APLICAÇÃO

4.1 Descrição do problema

Os dados coletados para pesquisa foram oriundos de uma pessoa com diabetes tipo 2, sendo feito uma análise afim de coletar informações ao longo de 7 (sete) dias, cuja pessoa fez seis vezes por dia a medição de glicemia durante esse determinado tempo, com uma observação onde a mesma não estava fazendo nenhuma dieta ou quaisquer tipos de prevenção para dirimir um possível agravamento da doença.

Após um intervalo de dois meses, a portadora da diabetes fez novamente os testes glicêmicos durante sete dias, porém, aplicado em um novo contexto, onde foi utilizado as informações abordadas no tópico 1.3 da pesquisa.

Assim, todos as informações coletadas através das medições glicêmicas, foram registradas no aplicativo Glic, mediante a isto será comparado se houve alguma alteração nos dados do usuário, visualizado por meio da curva glicêmica, média e desvio padrão, e HbA1c.

4.2 Aplicação dos dados no Glic

Os dados coletados das taxas glicêmicas por um período de uma semana, sendo seis vezes ao dia, sendo um antes (A) do café da manhã e duas horas depois (D), antes do almoço e duas horas depois, antes da janta e duas horas depois. Após a semana de coleta de dados ser concluída, obteve-se o seguinte resultado demonstrado na Tabela 2:

Tabela 2 – Dados glicêmicos antes da dieta

	Qua	Qui	Sex	Sab	Dom	Seg	Ter
A. Café	117	108	108	114	105	96	110
D. Café	74	99	112	100	131	149	120
A. Almoço	75	87	116	115	98	107	116
D. Almoço	82	120	145	129	125	127	163
A. Janta	118	107	126	111	118	100	119
D. Janta	107	182	124	165	128	110	168

Fonte: Elaborado pelos autores 2022)

Após aplicar os dados registrados da Tabela 2 no Glic para obter as informações que o aplicativo oferece, foi utilizado o site Glic, para visualização dos dados e gráfico. Primeiramente o site nos mostra a média da glicose e seu desvio padrão, em seguida nos mostra a estrutura do gráfico de glicemia, cujo mesmo apresenta um comportamento oscilatório com base nos elementos adquiridos nesta situação. (ver Figura 6 e 7) respectivamente.

Figura 6 – Média, desvio padrão e HbA_{1C} estimado antes da dieta.

Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

Figura 7 – Gráfico das taxas glicêmicas antes da dieta visualizadas no site.

Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

Logo após o término do primeiro período de coleta de dados, a pessoa com diabetes começou a praticar exercícios físicos e fazer uma dieta mais restritiva, diminuindo a quantidade ingerida de alimentos que podem ocasionar o aumento de glicose no sangue. Ao passar de dois meses, foi feito novamente a coleta de dados, e o resultado após uma rotina diferente segue na Tabela 3:

Tabela 3 – Dados glicêmicos pós dieta

	Qua	Qui	Sex	Sab	Dom	Seg	Ter
A. Café	154	136	110	107	130	105	108
D. Café	99	93	100	110	93	96	113
A. Almoço	95	87	89	99	99	116	110
D. Almoço	106	142	86	101	94	102	112
A. Janta	94	97	94	93	100	95	98
D. Janta	116	123	120	153	106	110	110

Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

Com base nos valores apresentados, é possível verificar que há uma predominância de dados glicêmicos altos quando comparados a tabela 2 e 3, onde a taxa glicêmica reduziu com uma rotina diferenciada do usuário. Então pode-se distinguir que há uma diferença entre esses dois períodos de pesquisa apenas com uma visualização aparente.

Em seguida foram registrados os dados obtidos no aplicativo do Glic para obter-se as informações que o site proporciona, primeiramente média com desvio padrão e a HbC1 estimada, como mostra a Figura 8. Então é apresentado o gráfico da curva glicêmica, com diferencial da Figura 7, pois o gráfico da Figura 9 mostra dados depois da mudança de hábitos.

Figura 8 – Média, desvio padrão e HbA_{1C} estimado depois da mudança de hábitos.

Fonte: elaborado pelos autores (2022)

Figura 9 – Gráfico das taxas glicêmicas depois da dieta.

Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

Relacionando as diferenças entre o gráfico da Figura 7, e o gráfico da Figura 9, constata-se que houve uma diferença, pois, a Figura 7 apresenta picos oscilatórios mais altos, o suficiente para passar da faixa verde que indica uma normalidade, já na Figura 9 o gráfico apresenta um comportamento menos oscilante com forma mais suave.

4.3 Dados interpolados via spline cúbica aplicados no Glic.

Para fazer a interpolação dos dados glicêmicos foi necessário o uso do programa Matlab, assim com os dados glicêmicos inseridos no programa obteve-se os dados interpolados.

Dessa forma, interpolando os dados de todos os dias de cada período, obteve-se resultados diferentes da aplicação dos dados da Tabela 2 que se refere aos índices glicêmicos antes da dieta, onde houve uma pequena diminuição da média e desvio padrão, a HbA_{1C} estimada também sofreu alterações, diminuindo em 0,03% em relação a primeira aplicação, e a imagem geométrica da curva glicêmica interpolado no período antes da dieta, (ver Figura 10 e 11) nesta ordem.

Figura 10 – Média, desvio padrão e HbA_{1C} estimado, interpolados antes da dieta.

Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

Figura 11 – Gráfico de glicemia interpolado antes da dieta

Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

Ao observar a Figura 11, houve uma diferença no gráfico com os dados interpolados, onde mostra uma suavização da curva, porém mesmo interpolado o gráfico ainda mantém um comportamento oscilante e no dia 3 manteve a elevação fora da margem verde, e no decorrer do gráfico mostra algumas partes não interpolados, porque não houve dados inseridos durante esse período do dia assim há uma estrutura de forma linha lisa.

Posteriormente utilizou-se o mesmo método para os dados obtidos pós dieta e exercícios, assim como foi feito no primeiro momento antes da dieta. Em relação a aplicação de dados feita da tabela 3, nota-se novamente uma diminuição na média, visto que mais dados foram apresentados, e seu desvio padrão também diminuiu, assim como a HbA_{1C} estimada pelo aplicativo, como mostra a Figura 12:

Figura 12 – Média, desvio padrão e HbA_{1C} estimado, interpolados depois da dieta.

Fonte: Elaborado pelos autores 2022)

Assim, com os dados inseridos no aplicativo Glic sua curva glicêmica demonstrou-se da seguinte maneira depois da dieta na Figura 13:

Figura 13 – Gráfico de glicemia interpolado depois da dieta

Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

Contrapondo as diferenças de comportamento dos gráficos interpolados da Figura 11 antes da dieta e o gráfico da Figura 13 depois da dieta, percebe-se o diferencial nas curvas glicêmicas, onde na Figura 11 a sua curvatura apresentou uma suavidade, porém, ainda procede de modo oscilante, já na Figura 13 ficou evidenciado o comportamento do gráfico com uma modulação mais suave nos pontos interpolados. Porém vale ressaltar que houve uma mudança abrupta referente no dia 10 no gráfico da Figura 13, onde a curva interpolada teve um pico sobressaindo para baixo da faixa verde.

5 ANÁLISE DO RESULTADO

Para analisar a interpolante Spline Cúbica, se fez necessário unir a utilização do aplicativo Glic para obter os dados glicêmicos. Dessa forma, com os valores descritos na tabela 4, determinou-se os resultados dos parâmetros média, desvio padrão, HbA_{1C}, antes e depois da dieta no período não interpolado e em seguida, interpolado.

Tabela 4 – Resultados finais da média, desvio padrão e HbA_{1C} estimada antes e depois da interpolação.

Dados	Média	Desvio Padrão	HbA_{1C} estimada
Antes da Dieta	117,4	22,91	5,72%
Depois da Dieta	107,17	16,05	5,36%
Antes da Dieta Interpolado	116,59	20,07	5,69%
Depois da Dieta Interpolado	100,91	15,28	5,14%

Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

Dessa forma, ao verificar os resultados da pesquisa, ocorreu uma diferença no primeiro momento apenas com a mudança de hábito mais saudável, tendo uma redução no índice glicêmico de 10,23 da média e 6,86 no desvio padrão e a diferença da HbA_{1C} foi de 0,36%.

Em relação aos dados não interpolados e interpolados antes da dieta, observa-se uma diminuição da média de 0,84 e 2,84 no desvio padrão e HbA_{1C} de 0,03%. Já Depois da dieta a diminuição foi de 6,26 na média, 0,77 no desvio padrão e 0,22% na HbA_{1C}.

Nota-se diferenças numéricas em relação à média e HbA_{1C} estimada quando os dados são interpolados em comparação aos dados brutos, entretanto, o melhor indicativo na melhora dos resultados deve-se a diminuição do desvio padrão, que aponta uma menor variabilidade da média obtida.

CONCLUSÃO

Neste trabalho pode-se observar que utilizando a interpolação segmentada através da Spline Cúbica em uma situação problema envolvendo a doença diabetes tipo 2, foi possível potencializar a aplicação dessa técnica numérica com a utilização do aplicativo Glic, obtendo informações adicionais através dos parâmetros média, desvio padrão, HbA_{1C}, bem como visualizações gráficas.

Com a utilização da interpolação indicou-se um resultado que sem a necessidade de elevar o paciente ao extremo estresse com retiradas de taxas glicêmicas, obtendo-se um resultado mais fidedigno devido a diminuição em seu desvio padrão.

Sendo assim, conclui–se que a Spline utilizada, pode ser útil na estimativa da diabetes, com finalidade de uma pesquisa benéfica ao paciente na retirada das taxas glicêmicas e tendo uma considerável visualização se ocorreu alterações. Ainda assim, tudo indica que a mudança de hábito foi mais evidente em relação aos seus benefícios quando foi feito a interpolação, tendo, portanto, uma utilidade didática para auxílio no ensino e entendimento dessa técnica de interpolação.

Como perspectiva indica-se um estudo mais profundo da expansão desse conceito matemático aplicada com um grupo de pessoas, usando a mesma estratégia com acréscimo de profissionais na área da saúde, tendo o monitoramento com uma janela estatística maior.

REFERÊNCIA

International Diabetes Federation, Bélgica 1950. disponível em: https://diabetesatlas.org/. Acesso em: 13 de maio de 2022.

Sociedade brasileira de Diabetes, São Paulo. disponível em: https://diabetes.org.br/. Acesso em 13 de maio de 2022.

Sociedade brasileira de Diabetes, São Paulo. disponível em: https://diabetes.org.br/. Acesso em 28 de dezembro de 2022.

Glic, Barueri, 2017. Seção: **o que é diabetes**, disponível em: https://gliconline.net/ . Acesso em 01 de julho de 2022.

Nacional institute of Diabetes and Digestive and Kidney Diseases, disponível em: https://www.niddk.nih.gov/health-information/diabetes/. Acesso em: 01 de outubro de 2022.

World Health Organization, disponível em: https://www.who.int/health-topics/diabetes. Acesso em: 28 de dezembro de 2022.

ARAÚJO, L.; BRITO, M.; CRUZ, T., **Tratamento de Diabetes Mellitus do tipo 2: novas opções.** Salvador: Bahia, 2000.

DOMINGUES, José; *et al*. **Usando splines cúbicas na modelagem matemática da evolução populacional de Pirapora/mg**. Minas Gerais, 2014.

GOMES, Brito Marilia. **Diabetes: Recordando uma história**. Rio de Janeiro: ícone: 2015.

GOMES, Lorrayne; *et al*. **Funções splines aplicadas em dados de crescimento.** Goiano, 2017.

GROSSI, Alves Aurora Sônia; PASCALI, Maria Paula. **Manual de Enfermagem**: Departamento de Enfermagem da Sociedade Brasileira de Diabetes. São Paulo, 2009. p. 7-8.

LUCENA, Joana. **Diabetes mellitus tipo 1 e tipo 2.** São Paulo, 2017.

PIRES, Carlos Antônio; CHACRA, Roberto Antonio. **A evolução da insulinoterapia no Diabetes Melito tipo1**, p 1, 2017.

PIMAZZONI, *et* al. **Atualização sobre hemoglobina glicada (HbA1C) para avaliação do controle glicêmico e para o diagnóstico do diabetes: aspectos clínicos e laboratoriais.** J. Bras Patol Med Lad, 2009

JÚLIA, Ana; TARSO, Arthur. **Splines**. Minas Gerais, 2018, p. 5.

LOPES, Pereira Álvaro; COSTA S.J Manuel. **Comparação entre métodos de aproximação numérica utilizando o programa Matlab**. Abaetetuba, 2017.

SOUZA, Z; CELESTINO, M; CARVALHO; D. **Técnica de administração de insulina: uma prática sustentada em evidência cientifica.** Portugal, 2019.