

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS
CENTRO DE ESTUDOS SUPERIORES DE TABATINGA
LICENCIATURA EM MATEMÁTICA**

DANIEL COBOS MACEDO

MODELAGEM MATEMÁTICA NA OXIGENAÇÃO DO SANGUE

**Tabatinga-AM
2023**

DANIEL COBOS MACEDO

MODELAGEM MATEMÁTICA NA OXIGENAÇÃO DO SANGUE

Artigo científico apresentado como Trabalho de Conclusão de Curso para obtenção de nota parcial na disciplina Trabalho de Conclusão de Curso II, ministrada pela Prof.^a Dr.^a Karem Keyth de Oliveira Marinho, do Curso de Licenciatura em Matemática do Centro de Estudos Superiores de Tabatinga da Universidade do Estado do Amazonas.

Prof. Orientador: Dr. Antonio Ivan Ruiz Chaveco

**Tabatinga-AM
2023**

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Sistema Integrado de Bibliotecas da Universidade do Estado do Amazonas.

M141m MACEDO, DANIEL COBOS

Modelagem Matemática na Oxigenação do Sangue /
DANIEL COBOS MACEDO. Manaus : [s.n.], 2023.
13 f.: color.; 29 cm.

TCC - Graduação em Matemática - Licenciatura -
Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, 2023.
Inclui bibliografia
Orientador: CHAVECO, ANTONIO IVAN RUIZ

1. matemática; Modelação Matemática; Oxigenação..
2. Matemática; Modelação Matemática; Oxigenação.. 3.
Matemática; Modelação Matemática; Oxigenação.. I.
CHAVECO, ANTONIO IVAN RUIZ (Orient.). II.
Universidade do Estado do Amazonas. III. Modelagem
Matemática na Oxigenação do Sangue

Elaborado por Jeane Macelino Galves - CRB-11/463

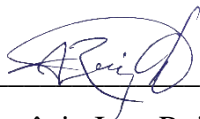
DANIEL COBOS MACEDO

MODELAGEM MATEMÁTICA NA OXIGENAÇÃO DO SANGUE

Artigo científico apresentado como Trabalho de Conclusão de Curso para obtenção de nota parcial na disciplina Trabalho de Conclusão de Curso II, ministrada pela Prof.^a Dr.^a Karem Keyth de Oliveira Marinho, do Curso de Licenciatura em Matemática do Centro de Estudos Superiores de Tabatinga da Universidade do Estado do Amazonas.

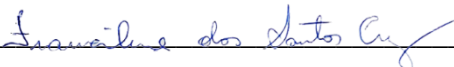
Data de aprovação: 14 de março de 2023.

BANCA AVALIADORA



Prof. Dr Antônio Ivan Ruiz Chaveco

(Orientador – UEA)



Prof.ª Dr.ª Francilene dos Santos Cruz

(Examinador Interno – UEA)



Prof.ª Dr.ª Karem Keyth de Oliveira Marinho

(Examinador Interno – UEA)

Dedico este trabalho a todos os que me ajudaram ao longo desta caminhada. A minha querida família, que tanto admiro, dedico o resultado do esforço realizado ao longo deste percurso. Aos meus pais, Rafael e Rosa, meus verdadeiros mestres, o meu eterno reconhecimento pelo exemplo de dignidade e perseverança. A minha esposa, Caroline Cobos, companheira de todos os sonhos, pelo amor, apoio, compreensão, paciência e por sempre acreditar em mim. Ao nosso filho Hugo Gustavo, razão de nossas vidas.

AGRADECIMENTOS

A Deus, em primeiro lugar, pela força e coragem durante toda esta caminhada.

Ao Prof. Dr. Antônio Iván Ruiz Chaveco, meu orientador e amigo, pela dedicação, paciência, confiança, competência, por seu entusiasmo contagiante pela pesquisa e por compartilhar comigo seus conhecimentos, minha eterna gratidão.

A Prof^ª. Esp. Dannie Layse Pereira Chaves, pela imensa ajuda, disponibilizando seus conhecimentos para viabilização deste trabalho, tornando real este sonho.

Aos professores do curso de matemática que me forneceram todas as bases necessárias para eu chegar até aqui, agradeço com profunda admiração pelo vosso profissionalismo.

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes.”

Martin Luther King

RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo analisar como a modelagem matemática pode ser utilizada no processo de oxigenação do sangue. Trata-se de uma pesquisa exploratória, de caráter qualitativo, por meio de uma revisão da literatura, através das bases de dados SciELO e Google Acadêmico. Os artigos elegidos para análise qualitativa foram sete, mas apenas três foram utilizados e comparados na discussão dos resultados. Com base nos estudos analisados, foi possível simular diversas características do ensaio experimental nos modelos matemáticos. A modelagem empregada foi bem-sucedida em quantificar as concentrações de oxigênio e gás carbônico presentes no sangue. A quantidade ínfima de artigos encontrados referentes ao tema interfere de maneira limitante nas conclusões desta revisão. Sendo assim, é necessário a realização de novos estudos, a fim de analisar como a modelagem matemática pode ser utilizada no processo de oxigenação do sangue, como também para atualizar os estudos acerca deste tema.

Palavras-chave: Matemática; Modelação Matemática; Oxigenação.

ABSTRACT

The present work aims to analyze how mathematical modeling can be used in the blood oxygenation process. This is an exploratory research, of a qualitative nature, through a literature review, through the SciELO and Google Scholar databases. The articles chosen for qualitative analysis were seven, but only three were used and compared in the discussion of results. Based on the analyzed studies, it was possible to simulate several characteristics of the experimental test in the mathematical models. The employed modeling was successful in quantifying the concentrations of oxygen and carbon dioxide present in the blood. The small amount of articles found referring to the subject interferes in a limiting way with the conclusions of this review. Therefore, it is necessary to carry out further studies in order to analyze how mathematical modeling can be used in the blood oxygenation process, as well as to update studies on this topic.

Key words: Mathematics; Mathematical Modeling; Oxygenation.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	12
2. 1 Modelagem Matemática	12
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	16
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	22
REFERÊNCIAS	23

1 INTRODUÇÃO

Iniciar um texto é sempre delicado. São as primeiras linhas que impressionam (ou não) o leitor. Assim julgamos as primeiras ideias, as primeiras palavras, os primeiros delineamentos. Dessa forma, na busca do melhor, conduzimos a introdução desse trabalho na perspectiva de oferecer ao leitor um panorama geral da investigação a ser apresentada. Para tanto, nos ancoramos no viés originário da inquietação, percorrendo, conseqüentemente, a delimitação do tema, a problemática, a hipótese, o objetivo do trabalho, bem como sua justificativa.

Desta forma, a matemática pode ser vista como um instrumento intelectual capaz de sintetizar ideias concebidas em situações empíricas que estão quase sempre camufladas num emaranhado de variáveis de menor importância (BERTONE; BASSANEZI; JAFELICE, 2014).

Além do mais, por meio da modelagem é possível descrever fenômenos, analisá-los e interpretá-los gerando discussões sobre fatos que cercam nosso dia a dia, cultivando assim, indivíduos reflexivos e críticos. Levando em conta o contexto de ensino, vivencia-se a dificuldade que muitos sujeitos apresentam ao cursar a disciplina de matemática. Essa dificuldade, em grande parte, se deve por acreditarem que a maioria dos conceitos dessa área não tem utilidade em sua prática cotidiana, o que gera rejeição e desinteresse pela disciplina (PREZOTTO; KIRST, 2016).

Como hipótese levantou-se que a matemática assume um papel formativo, instrumental, e propedêutica no desenvolvimento do indivíduo. Com esse entendimento, o presente trabalho tem por objetivo analisar como a modelagem matemática pode ser utilizada no processo de oxigenação do sangue, através de uma revisão bibliográfica.

A justificativa deste estudo se dá pelo fato de que, nos dias atuais, vive-se um período de acelerado avanço científico e tecnológico, ampliando vastamente a quantidade de informação disponível à população. Nesse cenário evidencia-se o quanto a Modelagem Matemática é útil e necessária à vida das pessoas, visto que essa modelagem configura uma poderosa ferramenta para o tratamento da informação.

Além desta introdução, o presente artigo apresenta uma fundamentação teórica acerca da modelação matemática, metodologia, resultados e discussão e considerações finais.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Modelagem Matemática

Nos dias de hoje, a Matemática tem se revelado fundamental para o desenvolvimento da sociedade, seja através das relações humanas ou mesmo no progresso das tecnologias. Neste sentido, as aplicações matemáticas no mundo físico e social são de grande importância na evolução do mundo contemporâneo (SANTOS; ASSIS, 2016).

Prezotto e Kist (2016) afirmam que para que o ser humano desenvolva o apreço pela Matemática é preciso que se torne sujeito ativo na construção de seu conhecimento. Isso pode ser efetivado investindo em novas metodologias, onde o conhecimento é construído de forma ampla, engajada e crítica, despertando no sujeito o desejo de elaborar métodos que facilitem sua compreensão acerca do tema em estudo.

De acordo com Barbosa (2003),

Se estamos interessados em construir uma sociedade democrática, onde as pessoas possam participar de sua condução e, assim, exercer cidadania, entendida aqui genericamente como inclusão nas discussões públicas, devemos reconhecer a necessidade de as pessoas se sentirem capazes de intervir em debates baseados em matemática (p. 6).

Prezotto e Kist (2016) apontam que tornar a matemática mais atraente e significativa para o indivíduo relacionando os conteúdos com as situações cotidianas, usando recursos tecnológicos e propondo situações em que o indivíduo se torne autor de sua aprendizagem é um dos principais objetivos do professor dessa área. São caminhos que têm apresentado resultados satisfatórios, mas que exigem um constante processo de investigação e elaboração por parte do professor.

A importância da Matemática reside no fato de poder ser tão agradável quanto interessante. O objetivo fundamental do “uso” de Matemática é, de fato, extrair a parte essencial de uma situação-problema e formalizá-la em um contexto abstrato onde o pensamento possa ser absorvido com uma extraordinária economia de linguagem. Desta forma, a Matemática pode ser vista como um instrumento intelectual capaz de sintetizar ideias concebidas em situações empíricas que estão quase sempre camufladas num emaranhado de variáveis de menor importância (BERTONE; BASSANEZI; JAFELICE, 2014).

Dentro dessa perspectiva, Prezotto e Kist (2016) mencionam que a estatística se constitui como um conteúdo que oferece múltiplas possibilidades de relacionar a matemática a questões do mundo real. Ela permite a interação com outras áreas, possibilitando desenvolver a leitura crítica, habilidades de análise e conclusão com possíveis tomadas de decisões que

favoreçam a resolução de questões políticas e sociais dentro da comunidade em que o indivíduo está inserido.

Nesse processo a Matemática assume um papel: formativo, ao ajudar a estruturar o pensamento e o raciocínio dedutivo; instrumental, pois é aplicada em uma atividade real de investigação; e propedêutica ao permitir o acesso a estudos posteriores. Com um conjunto de atividades que estimulem a pesquisa, a capacidade de estruturação, a interpretação e a análise crítica de dados estatísticos buscam-se estimular a aplicação da matemática como uma ferramenta de pesquisa, investigação e apontamento de soluções para problemas cotidianos (PREZOTTO; KIST, 2016).

Nessa forma de encarar a Matemática, a modelagem – que pode ser tomada tanto como um método científico de pesquisa quanto como uma estratégia de ensino-aprendizagem – tem se mostrado muito eficaz. A Modelagem Matemática consiste na arte de transformar problemas da realidade em problemas matemáticos e resolvê-los, interpretando suas soluções na linguagem do mundo real, Ou seja, a Modelagem Matemática é um processo de representação de problemas do mundo real em termos matemáticos, na tentativa de encontrar soluções para os problemas (BERTONE; BASSANEZI; JAFELICE, 2014).

Almeida, Silva e Vertuan (2016) afirmam que, por meio da Modelagem Matemática, é possível encontrar caminhos para abordar/solucionar um problema não essencialmente matemático.

Segundo Tortola e Almeida (2013, p. 624),

a Modelagem Matemática configura-se como uma possibilidade de atividades para as aulas, a qual, visando à aprendizagem dos alunos, lhes proporciona conhecer aplicações da Matemática e contribui para a consolidação de uma imagem desta disciplina como ciência que faz parte da história e da cultura humana e possibilita a construção ou produção do conhecimento, refletindo no desenvolvimento de outros aspectos.

Ainda sobre a definição de Modelagem Matemática, Biembengut e Hein (2007) afirmam que

Ela não possui um estatuto definido e ainda acrescentam que existem regimentos internos na forma de esquemas nos quais se destacam Bassanezi, Biembengut, Barroso, Golbarg e Luna, entre outros igualmente destacados. Cada qual com sua visão adequada àquilo que lhe interessa, seja no ensino, na pesquisa ou na aplicação (p. 35).

Nesse sentido, nos referimos a Barbosa (2007, p. 162) quando atesta que “a definição de um conceito de Modelagem, entretanto, não dá conta de gerar compreensões sobre a prática dos alunos nesse ambiente de aprendizagem”.

Conforme Lovo (2020) a Modelagem Matemática tem se configurado como uma possibilidade para o ensino de Matemática, uma alternativa pedagógica para aproximar cada vez mais a matemática de situações reais do cotidiano. Para Chaves e Santo (2011, p. 163) “o processo da Modelagem Matemática consiste na tradução/organização de situações-problema, provenientes do cotidiano ou de outras áreas do conhecimento”.

Conforme cita Barbosa (2004), um ambiente de Modelagem Matemática está associado à problematização e à investigação. A problematização se refere ao ato de criar perguntas e/ou problemas enquanto a investigação está associada à busca, à seleção, à organização e manipulação de informações e às reflexões sobre as perguntas. A problematização e a investigação, não podem ser separadas, mas sim articuladas no processo de envolvimento dos indivíduos para abordar a atividade proposta, em que é possível levantar questões e realizar investigações que atingem o âmbito do conhecimento reflexivo.

O autor compreende que as atividades de Modelagem podem contribuir e desafiar a ideologia da certeza e colocar lentes críticas sobre as aplicações da Matemática. As discussões que podem ocorrer trata-se de uma dimensão devotada a discutir a natureza das aplicações, os critérios utilizados e o significado social, que é o conhecimento reflexivo (BARBOSA, 2004).

Lovo (2022) complementa salientando que pensar em atividades de Modelagem Matemática é fazer com que os alunos experimentem o diferente, que estes se coloquem a pensar e deduzir modelos matemáticos para solucionar o que foi proposto sem se prender a padrões estabelecidos.

Conforme Bertone, Bassanezi e Jafelice (2014), às vantagens do emprego da modelagem em termos de pesquisa podem ser constatadas nos avanços obtidos em vários campos do conhecimento como a Física, a Química, a Biologia e a Astrofísica, entre outros. Uma das características mais importantes da modelagem é que pressupõe multidisciplinaridade. E, nesse sentido, vai ao encontro das novas tendências que apontam para a remoção de fronteiras entre as diversas áreas de pesquisa.

Neste mesmo raciocínio Campos (2007) cita que a Modelagem Matemática aliada a outros métodos favorece o desenvolvimento de várias habilidades como o letramento, o raciocínio e o pensamento estatístico. Ela provoca a reflexão e ação sobre a realidade, analisando, explicando e estudando situações da vida cotidiana que nos cerca.

Corroborando, Trainotti e Sant’Ana (2020), em seu estudo afirmam que a tarefa de modelagem matemática contribuiu para o desenvolvimento de habilidades referentes ao letramento, raciocínio e pensamento estatístico. Além disso, favorece o conhecer reflexivo, pois havendo a valorização do conhecimento matemático como ferramenta para auxiliar na busca de respostas de problemas.

Conforme Bertone, Bassanezi e Jafelice (2014), quando se procura refletir sobre uma porção da realidade, na tentativa de explicar, de entender, ou de agir sobre ela, o processo usual é selecionar, em um sistema, argumentos ou parâmetros considerados essenciais e formalizá-los através de um sistema artificial: o modelo.

Exemplo: Para a obtenção da equação da trajetória, basta entender que, durante o movimento de arrasto do relógio, a corrente permanece tangente à trajetória descrita pelo relógio. Também, a distância entre o ponto de tangência (relógio) e o eixo-x (borda da mesa), sobre a reta tangente (corrente), é constante (comprimento da corrente esticada). A tradução desta linguagem para a linguagem matemática permite descrever o fenômeno pelo modelo:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{y}{\sqrt{a^2 - y^2}}$$

Dois tipos de modelos que sintetizam o conteúdo deste texto podem ser descritos como:

✓ **Modelo Objeto** que é a representação de um objeto ou fato concreto. Tal representação pode ser:

- pictórica – um desenho, um esquema compartimental, um mapa;
- conceitual – fórmula matemática;
- simbólica.

Um modelo epidemiológico (sistema de equações diferenciais) que considera o grupo de infectados como sendo homogêneo e onde todos os seus elementos têm as mesmas propriedades, é um exemplo de um modelo objeto;

Um desenho para representar um objeto real é também um modelo deste tipo.

✓ **Modelo teórico** é aquele vinculado a uma teoria geral existente – será sempre construído em torno de um modelo objeto com um código de interpretação e deve representar as mesmas variáveis essenciais existentes no fenômeno e suas relações obtidas através de hipóteses (abstratas) ou de experimentos (reais) (BERTONE, BASSANEZI; JAFELICE, 2014).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Trata-se de uma pesquisa bibliográfica, de caráter qualitativo, por meio de uma revisão da literatura. Os trabalhos de revisão são definidos por Noronha e Ferreira (2000) como estudos que analisam a produção bibliográfica em determinada área temática, dentro de um recorte de tempo, evidenciando novas ideias, métodos, subtemas que têm recebido maior ou menor ênfase na literatura selecionada.

Em relação a pesquisa qualitativa contribui para articular compreensões e interpretações significativas sobre o problema investigado, pois privilegiam-se descrições de experiências, relatos de compreensão, respostas abertas a questionários, entrevistas com sujeitos, relatos de observações e outros procedimentos que deem conta de dados sensíveis, de concepções, de acontecimentos (BICUDO, 2013).

Para a busca dos artigos foram utilizadas as bases de dados: SciELO (Scientific Electronic Library Online) e Google Acadêmico a partir das seguintes palavras-chave: Matemática, Modelação Matemática e Oxigenação no período de 03 de janeiro a 15 de fevereiro de 2023.

Na triagem através da leitura dos títulos e resumos dos artigos, consideramos critérios de inclusão para eleger os estudos: estudos primários, publicados em português e inglês nos últimos 10 anos. Foram excluídos artigos publicados anteriormente aos anos estabelecidos, estudos secundários e em idioma diferente do definido. Na segunda triagem por meio da leitura dos artigos na íntegra, utilizando os mesmos critérios de inclusão e exclusão;

Por fim, os artigos selecionados para a revisão foram submetidos a uma análise criteriosa, onde foram trabalhadas as informações extraídas dos estudos selecionados, organizadas e sumarizadas de maneira concisa, formando um banco de dados de fácil acesso e manejo, apresentados em uma tabela, evidenciando autores e ano de publicação, objetivo, metodologia, resultados e conclusão, utilizando ferramentas do Microsoft Word® 2019.

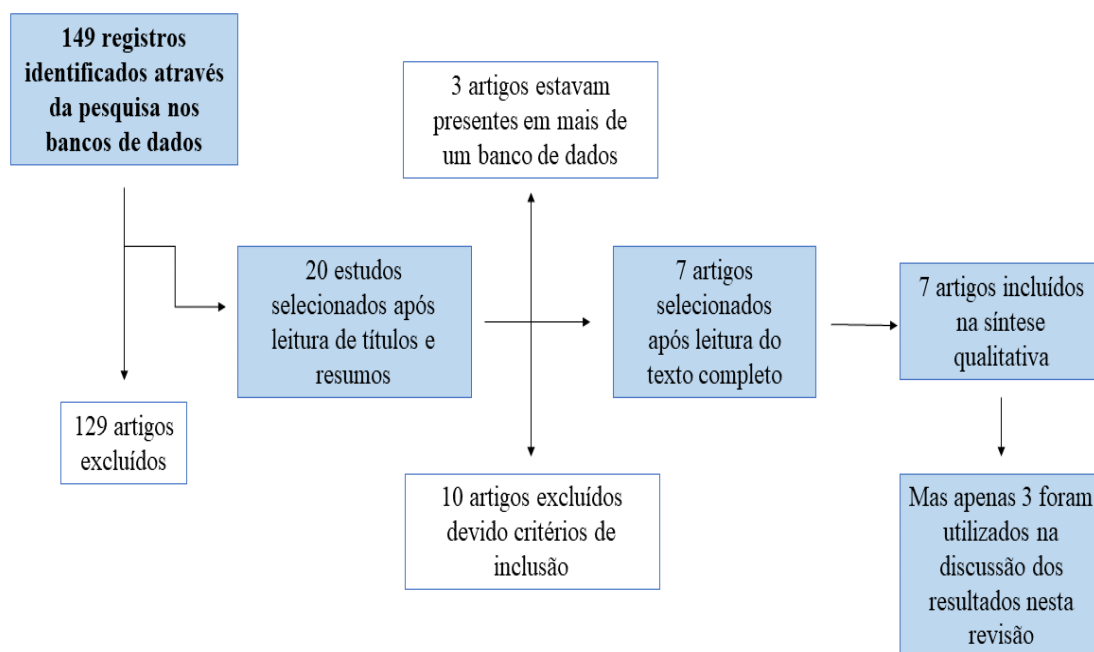
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A busca inicial nas bases de dados resultou em 149 artigos. Após a primeira triagem, 20 estudos foram selecionados após leitura do título e resumo avaliando de acordo com os critérios de inclusão. Os 129 artigos excluídos não correspondiam com os critérios de inclusão estabelecidos. Identificamos que a maioria foi publicada antes de 2013 e alguns eram incompletos. Além disso, observamos que determinados estudos aplicavam a Modelagem Matemática no ensino de matemática em todos os níveis de ensino, o que não era foco de nossa investigação.

Posteriormente, a segunda triagem permitiu que sete artigos fossem selecionados, após leitura por completo, seguindo os critérios de inclusão definidos para esta fase. Foram excluídos 10 estudos por não satisfazerem os critérios para inclusão na revisão e três artigos estavam presentes em ambas as bases de dados (SciELO e Google Acadêmico).

Os artigos eleitos para análise qualitativa foram sete, mas apenas três foram utilizados e comparados na discussão dos resultados (conforme figura 1).

Figura 1 – Fluxograma da estratégia de busca de artigos.



Fonte: Elaborada pelo Autor, 2023.

A Tabela 1 apresenta as informações extraídas dos estudos conforme roteiro desenvolvido pelos pesquisadores.

Tabela 1 – Descrição de artigos selecionados na revisão.

AUTOR(ES)	TÍTULO	OBJETIVO	METODOLOGIA	RESULTADOS	CONCLUSÃO
Policiano (2017)	Modelação matemática e experimental de dispositivos extracorporais de oxigenação do sangue	Desenvolvimento de uma instalação experimental de um módulo de membrana de um ECMO de maneira a caracterizarem-se os coeficientes de transferência de massa e a resistência de uma membrana comercial.	Ensaio laboratoriais num mini-oxigenador.	Foram obtidos gráficos de concentração de oxigénio ao longo do tempo para diversos ensaios. Através destes resultados experimentais foram calculados os coeficientes globais de transferência de massa da slit. Com base no método de diferenças finitas, foi resolvido um modelo matemático desenvolvido que simula a slit.	Os resultados do modelo corroboram com os resultados experimentais para os parâmetros: transferência de massa, dimensões da membrana, pressão de oxigénio e altura do canal. No entanto, para a velocidade os resultados são dissemelhantes, evidenciando a necessidade de melhorar o modelo.
Cavalcanti e Gregorio (2021).	Modelagem e simulação do transporte de gases no sistema cardiovascular humano utilizando o simulador de processos EMSO.	Utilizar uma abordagem de engenharia de processos para simular a distribuição de oxigénio e gás carbónico pelo sistema cardiorrespiratório e entender como se comporta a variação de pressão e do fluxo sanguíneo pelos órgãos e vasos sanguíneos que o compõem.	Simulador de processos EMSO	Foi constatado que o modelo apresentado consegue representar adequadamente o funcionamento do sistema respiratório, apresentando concentrações dos gases próximas aos valores de referência para o sangue arterial e venoso previstos pela literatura.	Os resultados dessa análise de sensibilidade comprovaram as maiores dificuldades respiratórias geradas por essas patologias, que são refletidas na menor capacidade de trocas gasosas nos alvéolos no caso da asma e do enfisema pulmonar.
Moreira (2022)	Avaliação Numérica do Escoamento	Determinar numericamente as frações volumétricas dos	Método VOF– Volume of Fluid	As percentagens da vazão mássica de cada uma das veias	A distribuição do fluxo sanguíneo obtido na

	Hemodinâmico após Cirurgia de Fontan	fluxos de sangue que saindo das veias cavas chegam em cada artéria pulmonar, visando identificar o sucesso da cirurgia, assim como fornecer subsídios para melhorar o procedimento		cavas para cada artéria pulmonar, foram: %VCS _{pd} =14; %VCS _{pe} =90; %VCI _{pd} =65 e %VCI _{pe} =34.	simulação foi acorde com os dados disponíveis na literatura.
--	--------------------------------------	--	--	---	--

Fonte: Elaborada pelo Autor, 2023.

Calvacanti e Gregório (2021) propuseram desenvolver um modelo OD compartimental capaz de simular as trocas gasosas que ocorrem nos alvéolos pulmonares, através de um ambiente de simulação de processos utilizado em engenharia química: o EMSO (*Environment for Modeling Simulation and Optimization*). O modelo desenvolvido foi composto por 211 variáveis, 207 equações, 4 especificações e 75 condições iniciais (75 graus de liberdade dinâmicos). Os resultados das simulações realizadas com os parâmetros explicitados anteriormente, correspondem a condições normais de saúde de um indivíduo em repouso (baixa frequência respiratória). A modelagem matemática utilizada pelos autores foi bem sucedida em quantificar as concentrações de oxigênio e gás carbônico presentes no sangue dos compartimentos do sistema cardiorrespiratório próximas às faixas previstas pela literatura. Além disso, variáveis características do escoamento sanguíneo, como pressão e vazão, se comportaram conforme esperado pela implementação dos modelos sistema cardiovascular.

Corroborando, Nunes e Brito (2011), enfatizam que no EMSO tem-se um ambiente gráfico onde o usuário pode representar processos complexos simplesmente selecionando e conectando os modelos dos equipamentos. Na maioria dos casos, os modelos disponíveis na biblioteca de modelos do EMSO (EML - *EMSO Modeling Library*) podem ser utilizados sem modificações. Mas o usuário pode ainda desenvolver seus próprios modelos utilizando a linguagem de modelagem do sistema.

O projeto de Barros (2015), envolve o desenvolvimento de um circuito analógico de aquisição e condicionamento dos sinais de oximetria (oxímetro de pulso), controlado pelo microcontrolador ATmega328p, que é também responsável por enviar os sinais amostrados para um aplicativo Android via Bluetooth. Através do aplicativo é possível o paciente compartilhar as informações da sua saturação de oxigênio com seu médico. O modelo desenvolvido se mostrou eficiente na filtragem do sinal (eliminação de nível DC, ruídos de alta frequência e ruídos provenientes da rede elétrica) bem como no cálculo da oxigenação, onde os

valores obtidos ficaram em torno de 93% e 98% indicando assim, uma taxa de saturação dentro da normalidade.

Para o autor, o oxímetro de pulso é um dispositivo não invasivo, apresentando alta fidelidade nos seus resultados e apresenta o resultado em tempo real. Quando foi iniciado o monitoramento da saturação de oxigênio, os métodos utilizados eram invasivos. Além disso, o tempo de processamento das medidas eram longos, como se pode citar os métodos químicos, que gastavam em torno de 20 minutos para a obtenção do resultado. Portanto, não poderiam ser utilizados para monitoramento de pacientes em situações de risco, no qual a falta de oxigênio pode levar rapidamente a danos irreversíveis (BARROS, 2015).

No estudo de Policiano (2017), a modelagem matemática foi utilizada para o desenvolvimento de uma instalação experimental de um módulo de membrana de um ECMO. A instalação experimental utilizada no trabalho foi baseada num arranjo já previamente testado para estudos de oxigenação de água (BESTEIRO, 2012).

De acordo com o *Children's Hospital of Philadelphia* (2016) a utilização de oxigenação extracorporeal com membranas (ECMO – *Extracorporeal membrane oxygenation*) é um meio de tratamento que proporciona as funções de respiração e suporte ao coração, por um tempo extenso, a doentes com patologia cardiorrespiratória grave e potencialmente letal.

Esta técnica é utilizada em doentes que apresentam um quadro clínico de insuficiência cardíaca ou respiratória grave, mas com potencial reversibilidade. A ECMO baseia-se na utilização de drenagem de sangue venoso por uma veia de grandes dimensões com o recurso a uma cânula. Uma bomba mecânica é utilizada para bombear o sangue para um pulmão artificial externo, onde o dióxido de carbono é removido do sangue e o oxigênio é introduzido. O sangue retorna ao corpo através de uma veia (venovenoso, VV) ou uma artéria (venoarterial, VA). Existem dois tipos simples de ECMO: VV ECMO, apenas proporciona suporte respiratório; enquanto que a VA ECMO proporciona também suporte cardíaco, substituindo assim completamente os pulmões e coração e sendo apropriada a paciente com insuficiência cardíaca (LAFÇ et al., 2014).

Policiano (2017) para se estudar a transferência de massa de oxigênio em sistemas de oxigenação extracorporeal com membranas, foram realizados ensaios laboratoriais num mini-oxigenador e, seguidamente, desenvolvido um modelo matemático que simula esse sistema. O mini-oxigenador utilizado para os ensaios laboratoriais é composto por um canal retangular e uma câmara de oxigênio, denominado *slit*. O canal retangular onde o líquido circula apresenta dimensões $2B \times X \times Z$, com $2B \ll 2X, Z$. Na interface entre estes dois compartimentos encontra-se uma membrana biocompatível. Observaram-se as curvas da concentração de oxigênio ao longo

do tempo, onde demonstravam uma evolução idêntica entre os diversos ensaios, apresentando uma tendência linear numa primeira fase do ensaio.

No estudo de Cavalcanti e Gregório (2021) a partir do estudo de caso de pacientes com asma, enfisema pulmonar e hipertensão pulmonar, também foi avaliada a influência da resistência ao escoamento de ar das vias aéreas, a complacência pulmonar e a complacência e resistência da artéria pulmonar. Observaram-se maiores dificuldades respiratórias geradas por essas patologias.

Os resultados do modelo matemático de Policiano (2017), corroboram com os resultados experimentais para os parâmetros: transferência de massa, dimensões da membrana, pressão de oxigênio e altura do canal. No entanto, para a velocidade os resultados são dissemelhantes, evidenciando a necessidade de melhorar o modelo.

Em seu estudo, Moreira (2022), fez uma Avaliação numérica do escoamento hemodinâmico após cirurgia de Fontan. Para identificar a fração de massa proveniente de cada veia cava que chega em cada pulmonar, utilizou-se o artifício da formulação bifásica VOF, com ambas as fases, possuindo as mesmas propriedades. Com o estudo foi possível identificar o caminho percorrido por cada uma delas. Onde as porcentagens da vazão mássica de cada uma das veias cavas para cada artéria pulmonar, foram: $\%VCS_{pd}=14$; $\%VCS_{pe}=90$; $\%VCI_{pd}=65$ e $\%VCI_{pe}=34$. Com base nos resultados encontrados e comparando-os com a literatura, conclui-se que a distribuição do fluxo sanguíneo obtido na simulação foi de acordo com os dados disponíveis na literatura.

De acordo com Prosperetti e Tryggvason (2009) a metodologia VOF considera que um fluido pode ser formado por diversas fases e utiliza um único campo de velocidade e pressão para determinar o escoamento.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante das reflexões desta pesquisa bibliográfica, que teve como objetivo analisar como a modelagem matemática pode ser utilizada no processo de oxigenação do sangue, é possível que nos estudos analisados, a pesquisa desenvolvida permitiu simular diversas características do ensaio experimental nos modelos matemáticos. A modelagem empregada foi bem-sucedida em quantificar as concentrações de oxigênio e gás carbônico presentes no sangue dos compartimentos do sistema cardiorrespiratório próximas às faixas previstas pela literatura.

Assim, os objetivos foram cumpridos adequadamente ao longo deste trabalho, tendo em vista a compreensão acerca da Modelagem Matemática na oxigenação do sangue. Ficou evidente que, no que diz respeito às vantagens, como amplamente abordado neste artigo, observou-se, que ao utilizar a Modelagem Matemática na oxigenação do sangue, foi possível estudar situações-problema por meio da pesquisa, bem como relacioná-las com fatos do cotidiano, estimulando-os a desenvolver interesse pelo estudo, motivação e senso crítico.

Contudo, a quantidade ínfima de artigos encontrados referentes ao tema interfere nas conclusões desta revisão, existindo ainda um esforço de investigação adicional necessário para dar seguimento aos resultados adquiridos, e permitir melhorá-los e aprofundá-los.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, L. M. W.; SILVA, K. A. P.; VERTUAN, R. E. **Modelagem Matemática na Educação Básica**. São Paulo: Contexto, 2016.
- ARAUJO, J. L.; BORBA, M. C. Construindo pesquisas coletivamente em Educação Matemática. In: ARAÚJO, J. L.; BORBA, M. C. (orgs.). **Pesquisa Qualitativa em Educação Matemática**. 5 ed. Belo Horizonte: Autêntica, 2013.
- BARBOSA, J. C. A prática dos alunos no ambiente de Modelagem Matemática: um esboço de um framework. In: BARBOSA, J. C.; CALDEIRA, A.D.; ARAUJO, J. L. (orgs). **Modelagem Matemática na Educação Matemática Brasileira: pesquisas e práticas educacionais**. Recife: SBEM, 2007, p. 161-174.
- BARBOSA, J. C. Modelagem Matemática: O que é? Por que? Como? **Veritati**, v. 1, n. 4, p. 73-80, 2004.
- BARROS, M. A. A. **Projeto de um oxímetro de pulso com comunicação sem fio**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB, 2015.
- BERTONE, A. M. A.; BASSANEZI, R. C.; JAFELICE, R. S. M. **Modelagem Matemática**. Uberlândia, MG: UFU, 2014, 187p.
- BESTEIRO, M. C. F. **Development of poly(ester urethane urea) membranes for extracorporeal membrane blood oxygenators,**” Ph.D. dissertation; IST, ULisboa, 2012.
- BICUDO, M. A. V. Pesquisa Qualitativa e Pesquisa Qualitativa segundo a abordagem fenomenológica. In: ARAÚJO, J. L.; BORBA, M. C. (orgs.). **Pesquisa Qualitativa em Educação Matemática**. 5 ed. Belo Horizonte: Autêntica, 2013.
- BIEMBENGUT, M. S.; HEIN, N. Sobre Modelagem Matemática do Saber e seus Limites. In: BARBOSA, J.C.; CALDEIRA, A.D.; ARAUJO, J.L. (orgs). **Modelagem Matemática na Educação Matemática Brasileira: pesquisas e práticas educacionais**. Recife: SBEM, 2007, p. 33-47.
- CAVALCANTI, J. N. C.; Gregorio, B. B. **Modelagem e simulação do transporte de gases no sistema cardiovascular humano utilizando o simulador de processos EMSO**. Monografia (Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, Rio de Janeiro: UFRJ/EQ, 2021.
- CHILDREN'S HOSPITAL OF PHILADELPHIA. **Extracorporeal Membrane Oxygenation: ECMO**. 2016. Disponível em: <http://bit.ly/20x0mzX>. Acesso em: 15 de fevereiro de 2023.
- LAFÇ, G. et al. **Use of Extracorporeal Membrane Oxygenation in Adults**. **Heart, Lung and Circulation**, v. 23, n. 1, p. 10-23, 2014.

LOVO, E. S. **Modelagem matemática e avaliação: uma proposta de trabalho com professores dos Anos Iniciais do ensino fundamental**. 2020. 95 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Matemática) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2020.

MOREIRA, T. C B. **Avaliação numérica do escoamento hemodinâmico após cirurgia de Fontan**. Projeto Final de Graduação (Bacharel em Engenharia Mecânica)- Departamento de Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2022. 60p.

NORONHA, D. P.; FERREIRA, S. M. S. P. Revisões de literatura. In: CAMPELLO, Bernadete Santos; CONDÓN, Beatriz Valadares; KREMER, Jeannette Marguerite (orgs.). **Fontes de informação para pesquisadores e profissionais**. Belo Horizonte: UFMG, 2000.

NUNES, D, G.; BRITO, R. R. L. **Utilização do Simulador de Processos EMSO para Aplicação da Técnica de Análise Preliminar de Perigos em Processos Dinâmicos**. Projeto Final de Curso (Bacharel em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, Rio de Janeiro-RJ, 2011.

POLICANO, D. M. F. **Modelação matemática e experimental de dispositivos extracorporais de oxigenação do sangue**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Instituto Técnico de Lisboa, Lisboa-PT, 2017.

PREZOTTO, L. F. R.; KIST, A. O ensino de estatística como ferramenta de investigação de processos sociais. In: SEDUC-PR. **Os desafios da Escola Pública paranaense na perspectiva do professor PDE**. Artigos. Volume I, Curitiba-PR, 2016.

PROSPERETTI, A.; TRYGGVASON, G. **Computational methods for multiphase flow**. Cambridge university press, 2009.

SANTOS, J. M. A.; ASSIS, L. R. S. Uma análise do eixo estatística e probabilidade do ensino médio da base nacional comum curricular. In: **Anais IX Encontro Paraibano de Educação Matemática – EPBEM**, Campina Grande-PB, 2016.

TORTOLA, E.; ALMEIDA, L. M. W. Reflexões a respeito do uso da modelagem matemática em aulas nos anos iniciais do ensino fundamental. **Revista Brasileira de Estudos Pedagógicos**, v. 94, n. 237, maio/ago. 2013.

TRAINOTTI, A; SANT’ANA, M. F. O ensino da estatística no ensino médio: análise sobre a formação crítica de estudantes do município de Rio do Sul – SC. **RPEM**, Campo Mourão, PR, Brasil, v. 09, n. 20, p. 375-392, nov.-dez. 2020.