

# Análise da Malária no Estado do Amazonas através de Sistema de Base de Regras Fuzzy

Lee Ketlen Costa Farias R. dos Santos\* ,  
DMAT, ICE – UFAM, 69077-000, Manaus/AM.

Roberto Antonio C. Prata\*\*,  
DMAT, ICE – UFAM, 69077-000, Manaus/AM.

No Institute Given

**Resumo** O objetivo deste trabalho é analisar a ocorrência dos casos de malária no estado do Amazonas no período de 2009 à 2015 através dos conhecimentos obtidos da teoria fuzzy e apresentar resultados utilizando variáveis linguísticas. Com isso, pretendemos manipular os dados e observar as variáveis que mais interferem nos números de casos de malária e assim poder apontar com garantia onde se faz necessário uma maior visibilidade.

**Palavras-Chaves:** Fuzzy, Epidemiologia, Malária.

## 1 Introdução

Lofti Asker Zadeh, em 1965, apresentou uma teoria de conjuntos onde não há uma interrupção abrupta da continuidade entre elementos pertencentes e não pertencentes a um conjunto. Assim, com essa nova teoria, é possível analisar matematicamente com termos imprecisos como “alto”, “baixo”, “aproximadamente”, “muito”, etc, fazendo com que pudéssemos trabalhar usando tais conceitos em computação e programação.

Grandes exemplos de colaborações desta teoria é possível ver em atividades relacionadas a indústria, a biologia ou a química. Problemas dessas áreas podem ser simplificados com o uso dos conjuntos fuzzy, o qual teve sua primeira aplicação conhecida em 1974, pelo professor Mandami, da Universidade de Londres, quando implementou um controle de uma máquina a vapor, baseado em lógica fuzzy. O que até então as tentativas de automatizar essas máquinas com outras técnicas vinham falhando.

Como é possível ver, podemos encontrar diversas aplicações da teoria fuzzy em várias áreas da ciência. Mas mesmo com isso e com o reconhecimento europeu e americano, o Oriente, principalmente o Japão foram quem deram mais ênfase nos investimentos em tecnologias baseadas na Teoria Fuzzy.

Desta forma, iniciou-se um estudo sobre a teoria Fuzzy que ao utilizar os conjuntos Fuzzy que associa cada variável linguística a uma função de pertinência nos possibilita esta quantificação.

---

\* ketlen.farias@outlook.com

\*\* praroberto@gmail.com

No processo epidemiológico da malária nos deparamos com termos parecidos ao estudar as variáveis que podem interferir no modelo utilizado. Observamos que umidade *alta* ou *baixa* e condições sanitárias *boas* ou *ruins* influenciam ao determinarmos se há muita, moderada ou pouca chance de se haver uma epidemia. E esta se tornou a nossa grande motivação para aplicar a Lógica Fuzzy nesta pesquisa. O recurso computacional utilizado foi o Software Matlab, que nos possibilita a implementação e a observação dos dados e seu comportamento de forma mais dinâmica e interessante.

### **1.1 Estudo do espalhamento da malária no estado do Amazonas através de Sistemas de Bases de Regras Fuzzy.**

Analisando as variáveis que permeiam os modelos matemáticos que descrevem esta infecciosidade, a malária, observamos que se tem diferenças quando olhamos para a intensidade das mesmas em determinados pontos. A questão é que a Matemática utilizada convencionalmente não utiliza definições de "alto", "médio" e "baixo", para isso é necessário quantificar tais termos tão imprecisos e com este objetivo a Lógica Fuzzy é essencial.

Inicialmente foi feita uma pesquisa bibliográfica para identificar quais fatores são de maior relevância no aumento de casos de malária no estado do Amazonas. Especialistas do Departamento de Geografia da Universidade Federal do Amazonas foram consultados para se fazer uma análise de forma mais técnica das ocorrências da doença. Além disso, também foram procurados especialistas em epidemiologia da Universidade Estadual do Amazonas, onde as informações obtidas foram suficiente para que junto com nossas pesquisas bibliográficas pudesse nos fazer avançar com uma boa base no assunto. De acordo com essas pesquisas, destacam-se os índices de desmatamento, pluviosidade e temperatura como os que mais influenciam no aumento de casos. Vale ressaltar que o índice de desmatamento esteve presente em cerca de 90% dos casos nos municípios do Amazonas e isso revela o grau de importância no aumento dos mesmos nessa região. Seguindo essas informações, prosseguimos com o estudo. Foi obtida a média populacional das cidades e relacionadas com os casos de malária para verificar o percentual de casos nas cidades, visto que o volume populacional varia muito de uma cidade pra outra. Na tabela 1 e 2 apresentamos os dados obtidos destes parâmetros entre os anos de 2009 e 2015.

**Tabela 1.** Média dos índices de desmatamento no estado do Amazonas.(INMET)

Ano	Média
2009	405
2010	595
2011	502
2012	523
2013	583
2014	500
2015	769

De acordo com os dados obtidos no site do INMET, a tabela 2 foi construída para o índice de pluviosidade:

**Tabela 2.** Média dos índices de pluviosidade no estado do Amazonas.(INMET)

Ano	Média
2009	228.4723
2010	196.5780
2011	231.6406
2012	221.1406
2013	217.0312
2014	207.4697
2015	165.1748

Os dados médios da temperatura foram obtidos no site do INMET e estão na tabela 3:

**Tabela 3.** Média dos índices de temperatura no estado do Amazonas.(INMET)

Ano	Média
2009	26.6603
2010	26.9230
2011	26.6308
2012	26.6063
2013	26.6887
2014	26.7952
2015	27.1965

## 1.2 Modelagem através de base de regras fuzzy

O sistema fuzzy irá controlar a relação entre os parâmetros de pluviosidade, temperatura e desmatamento com o IPA (Índice Parasitário Anual). Para isso precisamos classificar cada um desses parâmetros como alto, médio e baixo.

1. Temperatura: Para este parâmetro foi determinado que abaixo de  $26^{\circ}\text{C}$  será considerado índice baixo, entre  $26^{\circ}\text{C}$  e  $27^{\circ}\text{C}$  será considerado médio e acima de  $27^{\circ}\text{C}$  será alto. Sendo que na temperatura média é onde encontramos a maior probabilidade de haver proliferação do mosquito.

2. Desmatamento: Neste dado usaremos a porcentagem para melhor representar a situação de cada município. Abaixo de 2% será considerado nível de desmatamento baixo, entre 2% e 5% será considerado médio e acima de 5% um índice alto. Entendendo que no nível alto de desmatamento a probabilidade de se haver casos de malária será grande.

3. Pluviosidade: Será considerado baixa a marcação de precipitação até  $200\text{mm}^3$ , entre  $200\text{mm}^3$  e  $300\text{mm}^3$  será considerado média e acima de  $300\text{mm}^3$  será considerada alta. Considerando o nível médio como o mais propício para a proliferação.

Desta forma apresentamos abaixo as funções de pertinência da temperatura, pluviosidade, desmatamento e do IPA.

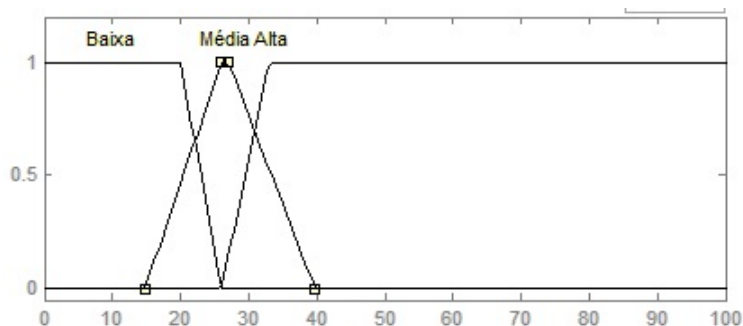


Figura 1. Temperatura

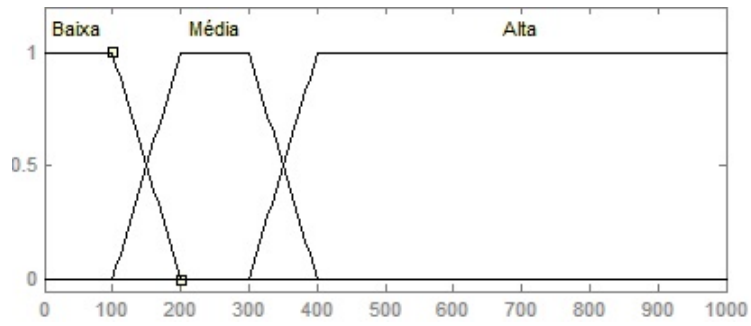


Figura 2. Pluviosidade

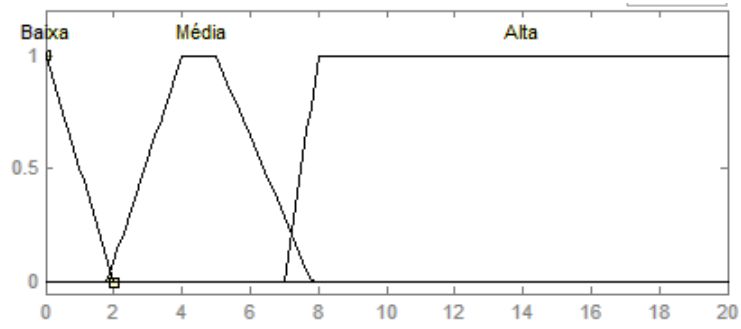


Figura 3. Desmatamento

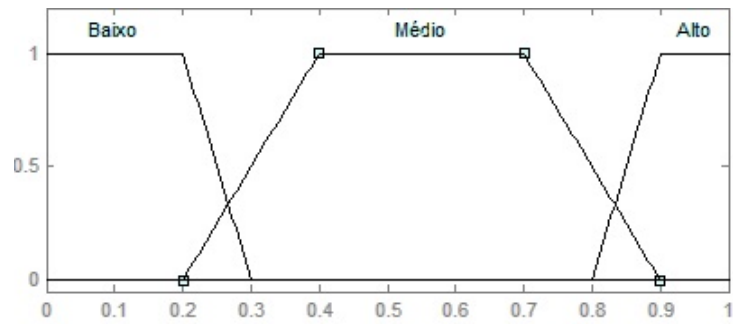


Figura 4. IPA - Índice Parasitário Anual

A tabela 4 representa as bases de regras que determinam as funções de pertinência nas figuras 1, 2, 3 e 4. Foram utilizadas 21 bases de regras obtidas de entrevistas com especialistas e levantamento bibliográfico conforme referências para este estudo.

**Tabela 4.** Base de regras que avalia a quantidade de casos de malária.

Desmatamento	Pluviosidade	Temperatura	Casos de malária
baixo	baixo	baixo	baixo
baixo	baixo	médio	baixo
.	.	.	.
médio	baixo	baixo	baixo
médio	baixo	médio	alto
.	.	.	.
alto	baixo	baixo	médio
alto	baixo	médio	alto
.	.	.	.

## 2 Resultados

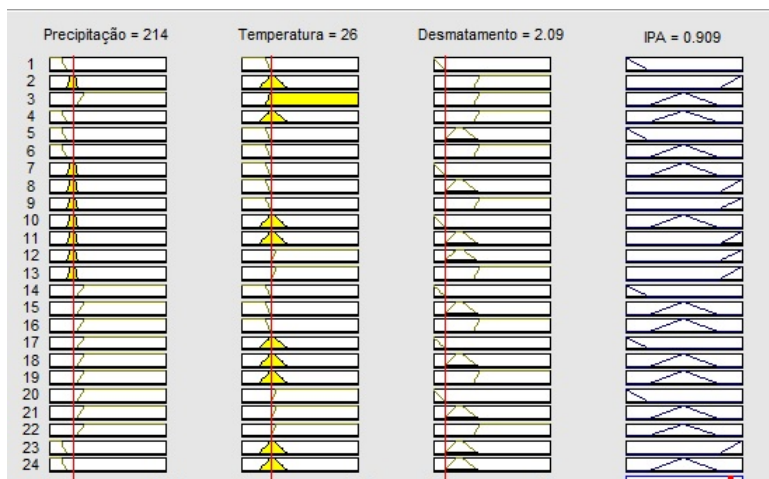
A precariedade nos recursos voltados para o combate às doenças epidemiológicas, o isolamento geográfico, os altos índices de desmatamento e a migração são pontos importantes a se levar em consideração quando buscamos entender o comportamento da população em relação às doenças como a malária. Como, infelizmente, não se tem disponível dados mais precisos, nosso estudo foi feito de acordo com as informações coletadas nas pesquisas bibliográficas, e também em sites do INMET e IBGE.

Ao observar que o volume populacional varia bastante de uma cidade pra outra, foi feito uma análise da relação entre os casos de malária e a população em porcentagem para se ter uma melhor compreensão da situação do estado do Amazonas. Com isso, iniciamos a construção da base de regras utilizada para este estudo. Mas é evidente que são inúmeros fatores que influenciam os casos de malária na região, e isso é preocupante, uma vez que devido a suspeita de dados manipulados podem modificar a interpretação das situações.

Utilizamos o método de inferência de Mamdani e para o método de desfuzificação utilizamos centro de massa.

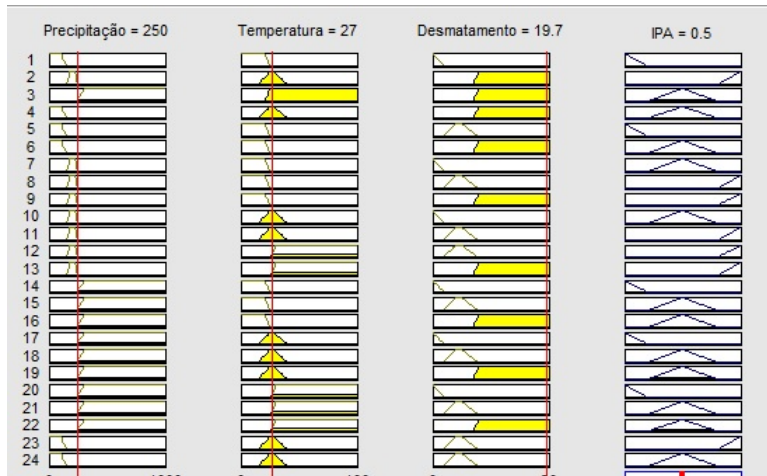
Em Manaus, capital do estado do Amazonas, foi observado inicialmente que houve uma diminuição dos casos de malária até 2014, o que nos incentivou a ir em busca de informação sobre os projetos de controle epidemiológico da prefeitura. E foi observado que, de fato, houve um trabalho intensificado da prefeitura juntamente com Fundação de Vigilância em Saúde (FVS). Contudo, no ano de 2015 não houve o mesmo empenho nesse tipo de projeto, o que fica claro ao observar os dados de 2015, onde houve um aumento dos casos. Mas é claro que

essa situação também é resultado dos altos índices de desmatamento na cidade, muitas das vezes causado pela migração intensificada no período de cheia. Com esses dados plotados no MATLAB, foi possível observar este comportamento.



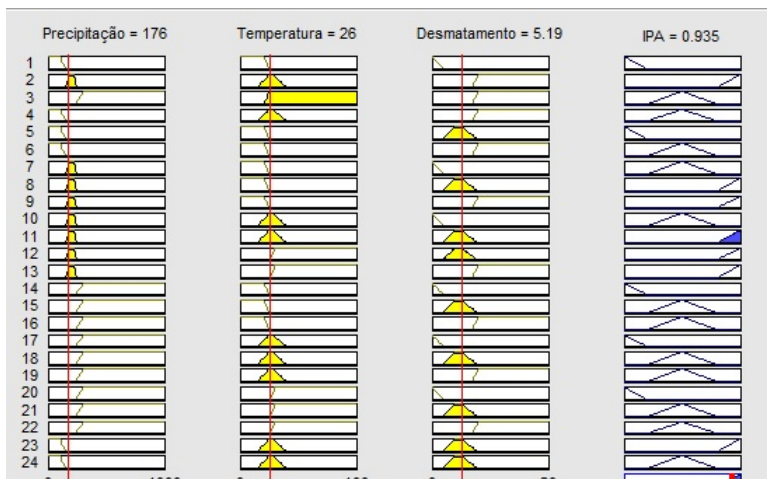
**Figura 5.** Cidade de Manaus

Também na região central do estado, temos o município de Itacoatiara com um dos índices de desmatamento mais alto do estado, onde é possível observar uma situação mediana, mas não menos preocupante, dos casos de malária e uma falta de interesse por parte das autoridades competentes em controlar a situação.



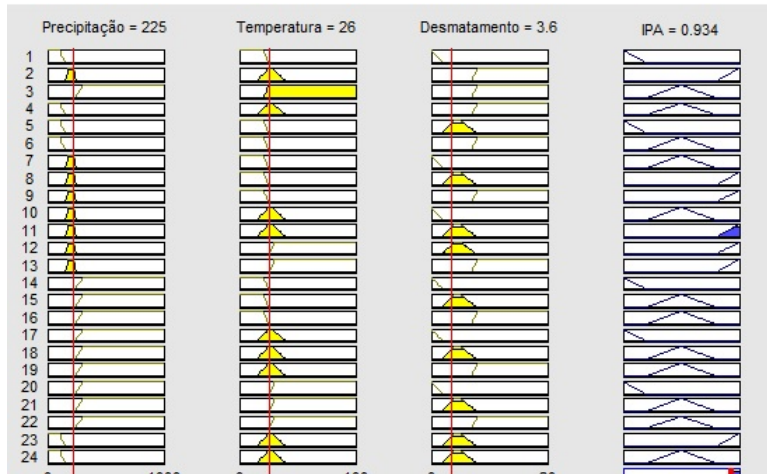
**Figura 6.** Cidade de Itacoatiara

Na região sul do estado temos também os maiores números de casos de malária, situação observada nos municípios de Lábrea e Manicoré. Apesar de estarem na mesma região do estado e os casos de malária serem altíssimos, os índices de desmatamento diferenciam, o que nos leva a observar que no município de Manicoré houve outros fatores que contribuíram para este descontrole epidemiológico.



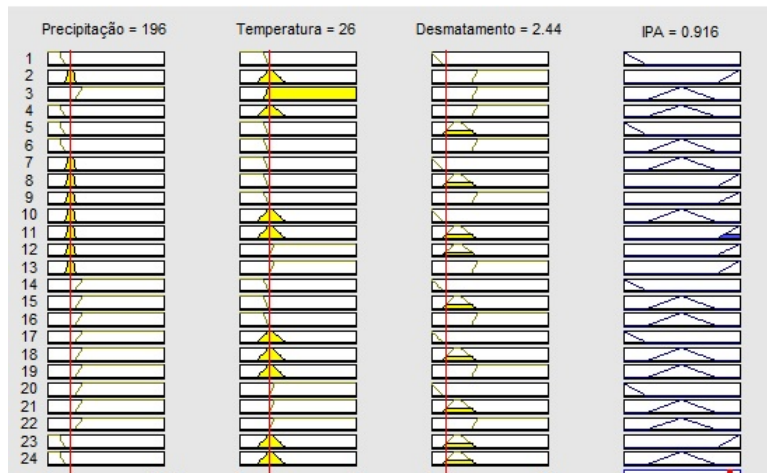
**Figura 7.** Cidade de Lábrea



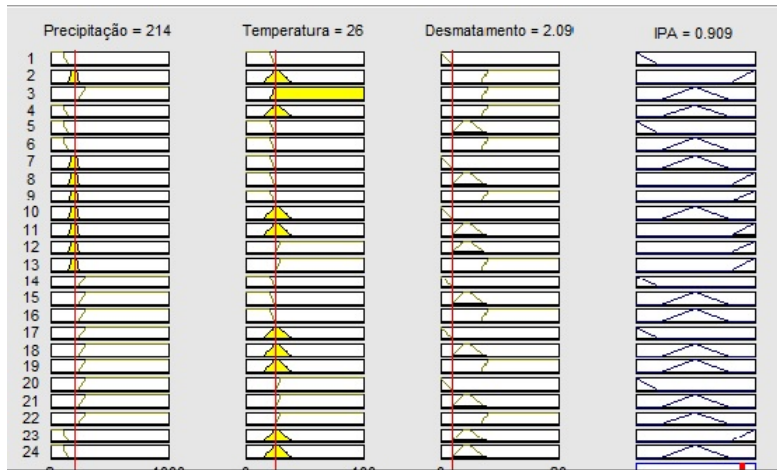


**Figura 8.** Cidade de Manicoré

Nos municípios de Eirunepé e Benjamin Constant, região sudoeste do estado, foi observado um índice médio de desmatamento que ainda assim foi o suficiente para, junto com outros fatores sociais e estruturais da região, haver muitos casos de malária.

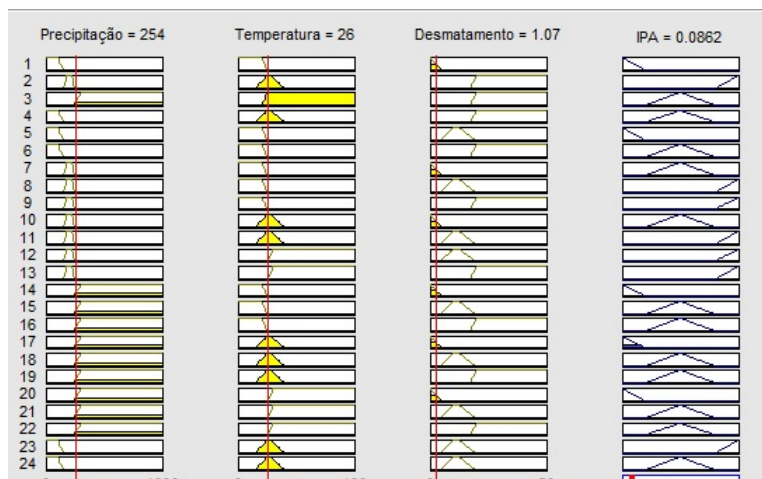


**Figura 9.** Cidade de Eirunepé



**Figura 10.** Cidade de Beijamim Constant

Em São Gabriel da Cachoeira, município que fica na região norte do estado, temos um controle altíssimo do desmatamento, visto que o município é uma reserva que conta com todo o auxílio do exército brasileiro, mas que apesar disso também observa-se muitos casos de malária que pode se dá, em boa parte, por conta da intensidade migratória causada pelos soldados e suas missões em áreas epidemiológicas.



**Figura 11.** Cidade de São Gabriel da Cachoeira

### 3 Conclusão

De acordo com as pesquisas nos sites das prefeituras dos municípios estudados, foi observado que onde houve investimento também houve diminuição nos casos de malária. E os resultados que aqui constam comprovam tais acontecimentos e demonstram onde é preciso uma maior atenção e o mais importante, onde essa atenção deve ser intensiva. Há vários âmbitos que devem ser melhorados, mas alguns precisam de uma atenção especial se quisermos melhoras efetivas e duradouras.

A cidade de Manaus é o melhor exemplo para demonstrar essa situação. No ano de 2009 a cidade teve 19.689 casos e logo houve incentivo no combate à malária. Nos anos seguintes houve uma diminuição considerável e em 2013, 7.290 casos foram computados pelo Ministério da Saúde. Mas no ano de 2014 houve uma diminuição no controle epidemiológico e isso logo se refletiu nos dados de caso deste ano, que computam cerca de 7.469 casos. Um aumento que poderia ser evitado caso houvesse a continuação dos incentivos por parte do governo.

### Referências

1. Belluci, Danilo Peixoto.: *Sistemas Baseados em Regras Fuzzy e Aplicações* Dissertação de Mestrado em Matemática Aplicada - Universidade Federal do ABC, (2009).
2. Norman, T . J.: *The Biomathematics of Malaria*, Giffin Company(1988)
3. Ministério da Saúde (2009): *Informações sobre a malária no Amazonas.*, - URL: [http://portalsaude.saude.gov.br/index.php?option=com\\_contentview=articleid=10933Itemid=646](http://portalsaude.saude.gov.br/index.php?option=com_contentview=articleid=10933Itemid=646), Acesso 15/05/2015.
4. Macufa, Marta Maria Mucacho e Bassanczi, Rodney C.: *Modelo epidemiológico alternativo para a malária.*, Uma publicação no Grupo de Biomatemática IMECC - UNICAMP, 2011.
5. Anna Lígia Oenning Soares.: *Modelagem Alternativa para Sistemas Epidemiológicos.*, Dissertação de Mestrado em Matemática Aplicada - Universidade Federal do ABC, Santo André. (2011)
6. Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical.: *Expansão urbana e distribuição espacial da malária no município de Manaus, Estado do Amazonas.*, vol.42 no.5 Uberaba Sept./Oct. 2009 -URL : [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttextpid=S0037-86822009000500008](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttextpid=S0037-86822009000500008)
7. Ministério da Saúde e Secretaria de Vigilância em Saúde.: *Sistema Nacional de Vigilância em Saúde. Relatório de Situação: Amazonas.*, 5 edição. Brasília/DF. (2011).
8. Bassanezi, R. C., Ferreira JR, W. C. *Equações Diferenciais Com Aplicações*. São Paulo : Harbra Ltda., 1988.
9. Luque, Alberto Perez de Vargas *Fundamentos de biomatemática (modelos determinísticos)* Universidad Complutense de Madrid, 1985.
10. Gozze, Amanda Begosso.: *Epidemiologia da malária de fronteira agrícola: fatores associados à infecção e doença em estudo de base populacional na Amazônia rural brasileira*, Dissertação de Mestrado em Ciências Biomédicas - Universidade de São Paulo, São Paulo(2012)

11. Oliveira, Aureo S. de: *Fundamentos da Meteorologia e Climatologia, Cp XI: Precipitação Pluviométrica*, NEAS-UFRB
12. Maciel, Faye Oliveira; Silva, Raullyan Borja Lima e Souto, Raimundo Nonato Piccanço.: *Fatores de risco associados à transmissão de malária humana, em áreas de ressacas, nos bairros Novo Horizonte e Zerão. Macapá, Amapá, Brasil.*, Biota Amazônia(2011)
13. Ações de controle de endemias (Malária); *Manual para agentes comunitários de saúde e agentes de controle de endemias.*, Ministério da Saúde / Fundação Nacional de Saúde, Brasília/DF(2002)
14. Barbosa, Wuerles Bessa: *Levantamento epidemiológico de malária na cidade de Manaus em 2005*, Secretaria do Estado de Amazonas(2008)
15. Parente, Andressa Travares; Souza, Everaldo Barreiros de; Ribeiro, João Batista Miranda: *A ocorrência de malária em quatro municípios do estado do Pará, e sua relação com o desmatamento*, Acta Amazonica(2012)
16. Mourão, Fábio Rodrigo; Cunha, Alan Cavalcante da; Silva, Ricardo Adaime; Souza, Everaldo Barreiros: *A vigilância da malária na Amazônia Brasileira*, Biota Amazonia(2014)
17. Wolfarth, Bruna Raquel; Filizola, Naziano; Tadei, Wanderli; Durieux, Laurent: *Análise epidemiológica da malária e as relações com variáveis ambientais em quatro municípios do Amazonas, Brasil*, INPA
18. Agum, Ricardo; Riscado, Priscila; Menezes, Monique: *Políticas Públicas: Conceitos e análise em revisão*, Revista Agenda Política(2015)
19. Barata, Rita de Cássia B.: *Malária no Brasil: Panorama epidemiológico na última década*, Cad. Saúde Pública, Rio de Janeiro(2011)
20. Aguado, Alexandre Garcia; Cantanhede, Marco André : *Lógica Fuzzy*, Faculdade de Tecnologia - UNICAMP(1888)
21. Bellucci, Danilo Peixoto : *Sistemas Baseados em Regras Fuzzy e Aplicações*, Universidade Federal do ABC - Santo André(2009)