Biomatemática ***27 (1)*** *2017, 63–74* ***ISSN 1679-365X***
Uma Publicação do Grupo de Biomatemática IMECC – UNICAMP

Modelagem matemática para a hanseníase em Codó-MA

Danilo L. Falcão[1],
IMECC – UNICAMP, 78.060-900, Campinas/SP.

Jefferson C. S. Leite[2],
DM – UFPI, 00.000-000, Teresina/PI.

Raimundo S. Marcolino[3],
IMECC – UNICAMP, 78.060-900, Campinas/SP.

Resumo. Neste trabalho, apresenta-se um modelo matemático epidemiológico de tempo discreto, formado por Equações de Diferenças Finitas, com o objetivo descrever e analizar a dinâmica da epidemia de Hanseníase no Município de Codó-MA. Arpesenta-se, também, a situação atual da doença no Mundo, no Brasil e em Codó. Como embasamento teórico, mostra-se o modelo epidemiológico SI(Sustível-Infectado) escrito através das equações de diferenças finitas como modelo matemático determinístico de tempo discreto. Finalmente, apresenta-se uma Modelagem Matemática da Hanseníase para o município de Codó através de uma equação logística discreta com o intuito de descrever e avaliar a dinâmica da epidemia da doença, bem como fazer projeções para a população de infecciosos do município, com dados compreendidos no período entre 2001 a 2014.

Palavras-chave*: Modelagem; Epidemiologia; Hanseníase.*

1. Introdução

Segundo Eidt (2004) a hanseníase é uma doença infectocontagiosa de evolução crônica causada pela bactéria chamada *Mycobacterium leprae*. Esta

[1]danilo.falcao@ifma.edu.br
[2]jleite@ufpi.edu.br
[3]raimundo.marcolino@ifma.edu.br

doença se manifesta, principalmente, por lesões cutâneas com diminuição de sensibilidade térmica, dolorosa e tátil. A mesma aparece mencionada na Bíblia com o nome de Zardoth e traduzida para o grego por lepra ou escamas (Bald, 1993). A denominação lepra foi trocada para hanseníase em homenagem ao médico norueguês Gerhard Henrick Armauer Hansen (1841-1912) conhecido pela identificação do *Mycobacterium leprae* como o agente causador da lepra em 1873 conforme (Brasil, 2015).Em 1986 foi apresentada a primeira proposta de eliminação da hanseníase até o ano 2000. Em 1991 a hanseníase passou a ser vista como problema de saúde pública, bem como definida a meta de menos de 1 caso por 10 mil habitantes. Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS) o Brasil ocupa o primeiro lugar no ranque de países com maior incidência e o segundo lugar na prevalência mundial de hanseníase, ficando atrás somente da Índia. Concentra 90% dos casos registrados no Continente Americano, com média de 47 mil casos novos a cada ano de acordo com OMS (2015). A cidade de Codó está entre as cinco cidades com maior coeficiente de prevalência de hanseníase do Estado do Maranhão, segundo a Secretaria de Estado da Saúde (SES-MA). Estes fatos são motivadores para a realização desta pesquisa na área de Biomatemática.

2. O Modelo

Fez-se aplicação de um modelo matemático de tempo discreto (Silva, 2009), formado por equações de diferenças finitas, do tipo SI (suscetíveis - infectados) na avaliação da dinâmica da epidemia de hanseníase no município de Codó-MA. Primeiramente, apresenta-se alguns conceitos básicos em epidemiologia de acordo com Flores (1995), necessários para entendimento, a saber:

- Epidemia: ocorrência de uma doença excedendo a expectativa normal;
- Suscetíveis: são pessoas sadias, mas suscetíveis à epidemia, podendo ser infectadas quando em contado com pessoas doentes;
- Infeccioso: indivíduo que transmite a doença;
- Razão de Reprodutividade Basal R_0: número de casos secundários que um caso primário é capaz de produzir em uma população totalmente suscetível. Se $R_0 < 1$ a doença entrará em extinção, se $R_0 > 1$ a doença permanecerá em estado epidemíco.

Neste estudo, considera-se uma população P dividida em classes disjuntas de suscetíveis e infecciosos, sendo que as proporções de cada classe variam com o tempo t:

- S_t representa a proporção de suscetíveis no instante t;
- I_t representa a proporção de infecciosos no instante t.

O modelo SI é descrito pelo seguinte sistema de equações de diferenças finitas:

$$\begin{cases} S_{t+1} - S_t &= \alpha S_t - \beta S_t I_t \\ I_{t+1} - I_t &= \beta S_t I_t - \gamma I_t \end{cases} \tag{2.1}$$

Onde:

- α: taxa de variação (crescimento ou decrescimento) dos suscetíveis;
- β: taxa de transmissão ou infecciosidade, proporcional ao contato entre os indivíduos;
- γ: taxa de decrescimento da classe dos infecciosos (taxa de cura ou mortalidade);
- S_0 e I_0 são as condições iniciais do problema para o tempo inicial $t = 0$.

Seja uma população P formada apenas por suscetíveis e infecciosos, bem como S_t e I_t como partes ou porcentagens de P no instante t:

$$S_{t+1} + I_{t+1} = 1 \tag{2.2}$$

Isolando S_t na primeira equação do sistema 2.1 e substituindo na segunda equação pode-se escrever I_t em função de α, β, $e\,\gamma$ do seguinte modo:

$$I_{t+1} = [(1-\gamma) + \frac{\beta}{1+\alpha}]I_t - [(1-\gamma)\frac{\beta}{1+\alpha}]I_t^2 \tag{2.3}$$

O modelo 2.3 mostra que a quantidade I_t de infecciosos terá um crescimento logístico, e portanto a população de infecciosos pode ser modelada por uma equação logística discreta. Fazendo

$$r = 1 - \gamma + \frac{\beta}{1+\alpha} \tag{2.4}$$

encontra-se

$$I_{t+1} = rI_t(1 - I_t) \tag{2.5}$$

Aplicou-se o modelo 2.5 a partir de parâmetros obtidos dos dados da epidemia de hanseníase na cidade de Codó.

3. Análise do modelo

3.1 Equação Logística Discreta - estabilidade e pontos de equilíbrio

De acordo com Bassanezi (2002) equação logística discreta $Y_{t+1} = f(Y_t) = rY_t(1-Y_t)$ tem como pontos de equilíbrio os pontos fixos $Y^* = Y^*_{t+1}$ dados por $Y^*_1 = 0$ e $Y^*_2 = 1 - \frac{1}{r}$. A estabilidade dos pontos de equilibrio é dada por $\lambda = [\frac{df(Y_t)}{Y_t}]_{Y_t=Y^*} = r - 2rY_t$ quando Y_t tende para Y^*. Deste modo, tem-se:

- Se$0 < r < 1$ tem-se $0 < \lambda_1 < 1$ e neste caso $Y^*_1 = 0$ é assintoticamente estável. A população de infectados deverá entrar em extinção.

- Se $|\lambda_2| < 1 = |2 - r| < 1$,isto é$1 < r < 3$, neste intervalo tem-se $Y^*_2 = 1 - \frac{1}{r}$ um ponto assintoticamente estável. Neste caso qualquer população inicial de infecciosos tenderá para Y^*_2

3.2 Determinação dos Parâmetros α, β e γ.

Tabela 1: Número de Infecciosos e Suscetíveis a Hanseníase em Codó-MA de 2001 a 2014. Fonte: Sistema de Informação de Agravos de Notificação-SINAN

Ano	**Nº de Infectados**	**Nº de Suscetíveis**
2001	95	312
2002	118	270
2003	144	529
2004	148	430
2005	158	499
2006	107	401
2007	135	544
2008	104	397
2009	138	438
2010	129	428
2011	116	370
2012	118	433
2013	106	420
2014	148	529

De acordo com a Tabela 1 tem-se, de 2001 a 2013, 1616 infectados e 5471 suscetíveis. Portanto os valores proporcionais inicias são $I_0 = 0,2280$ e $S_0 = 0,7720$.

Os parâmetros α e β são obtidos através de regressão linear a partir das curvas dos suscetíveis e infecciosos em função do tempo construídas através do Microsoft Excel.

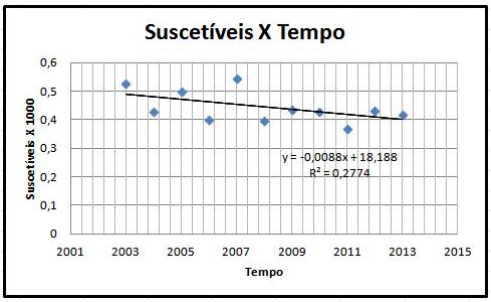

Figura 1: Regressão Linear do *Número de Suscetíveis a Hanseníase em Codó - 2003 a 2013*

A Figura 1 representa uma estimativa do parâmetro α dado pelo coeficinte angular da reta de regressão linear, logo $\alpha = -0,0088$

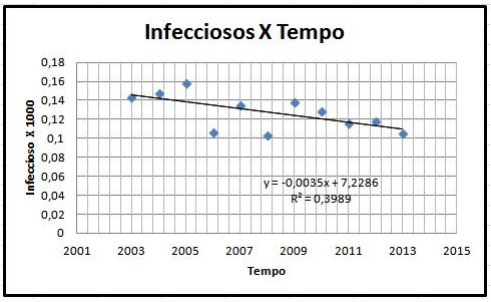

Figura 2: Regressão Linear do *Número de Infectados por Hanseníase em Codó - 2003 a 2013*

A Figura 2 representa uma estimativa do parâmetro β dado pelo coeficinte angular da reta de regressão linear, logo $\beta = -0,0035$

Os valores negativos dos parâmetros α e β indicam que existe uma tendência de decrescimento da doença no município.

O parâmetro γ foi determinado considerando o valor de $\beta = -0,0035$ e as variações de valores de suscetíveis e infectados de acordo com a Tabela 1, substituindo os valores na segunda equação do sistema 2.1.

Tabela 2: Variação da Taxa de Removidos de 2003 a 2013.

Ano	γ
2003	-0,02963
2004	-0,06907
2005	0,32103
2006	-0,26308
2007	0,22773
2008	-0,32831
2009	0,06369
2010	0,09928
2011	-0,01853
2012	-0,10017
2013	-0,3977
Media	-0,02677

De acordo com a Tabela 2 o parâmetro $\gamma = -0,02677$ representa a média dos valores referentes aos anos 2003 a 2013.

3.3 Determinação do Parâmetro r - Número de Reprodutividade Basal do Modelo

O Número de Rreprodutividade Basal do Modelo utilizado para avaliar e descrever a epidemia da hanseníase em Codó é o parâmetro r defnido como sendo o número médio de novos infectados gerados por um único infeccioso, quando exposto a uma população em que todos indivíduos são suscetíveis à doença conforme (Yang, 2001). Este número básico é muito importante para epidemiologia, pois mede a velocidade inicial da epidemia.

Encontra-se o Parâmetro r através da equação 2.4:

$$r = 1,0232 \tag{3.6}$$

Uma vez que $1 < r < 3$ a tendência da população de infecciosos pela Hanseníase, em Codó-MA, é estabilizar para um ponto fixo $I^* = 1 - \frac{1}{r}$. De acordo com os resultados encontrados na subsecção 3.1.

4. A Situação da Hanseníase em Codó - MA

De acordo com (SES-MA, 2015) município de Codó apresenta altos índices de coeficiente anual de prevalência de hanseníase por 10.000 habitantes no estado do Maranhão, variando de 8,51/10.000 habitantes a 12,33/10.000 habitantes no período de 2001 a 2014, respectivamente e com média no período de aproximadamente 10.94017314/10.000 habitantes, conforme a Figura 3

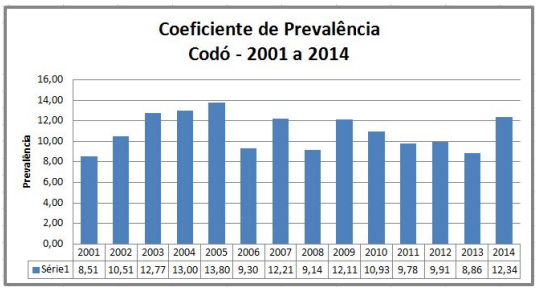

Figura 3: Variação de *Infecciosos, Suscetíveis e Prevalência de Hanseníase em Codó 2001 a 2014. Fonte: Secretaria Municipal de Saúde-SINAN*

A cidade de Codó está entre as cinco cidades com maior coeficiente de Prevalência de Hanseníase do Estado do Maranhão, segundo a Secretaria de Estado da Saúde (SES-MA, 2015). Uma das ações que já está acontecendo em Codó é o trabalho de Busca Ativa, que significa ir de casa em casa nos bairros mais endêmicos, conforme Figura 4.

Figura 4: Suspeito encontrado na *Busca Ativa. Fonte: SMS-PMCH- Codó-MA*

5. Projeções da População de Infecciosos pela Hanseníase em Codó-MA

5.1 Projeções através do Modedo

A avaliação da população de infecciosos pela hanseníase no município de Codó foi feita através da equação logística 2.5, com a população inicial $I_0 = 0,228$ e $r = 1,0232$

Ano	Tempo t	r=1,0232	r=0,5917	r=0,807	r=1,239	r=1,4548	Ano	Tempo t	r=1,0232	r=0,5917	r=807	r=1,239	r=1,4548
2015	0	0,228	0,228	0,228	0,228	0,228	2056	41	0,034	0,00	0,00	0,193	0,313
2016	1	0,180	0,104	0,142	0,218	0,256	2057	42	0,033	0,00	0,00	0,193	0,313
2017	2	0,151	0,055	0,098	0,211	0,277	2058	43	0,033	0,00	0,00	0,193	0,313
2018	3	0,131	0,031	0,072	0,206	0,291	2059	44	0,033	0,00	0,00	0,193	0,313
2019	4	0,117	0,018	0,054	0,203	0,300	2060	45	0,032	0,00	0,00	0,193	0,313
2020	5	0,105	0,010	0,041	0,200	0,306	2061	46	0,032	0,00	0,00	0,193	0,313
2021	6	0,097	0,006	0,032	0,199	0,309	2062	47	0,032	0,00	0,00	0,193	0,313
2022	7	0,089	0,00	0,025	0,197	0,311	2063	48	0,031	0,00	0,00	0,193	0,313
2023	8	0,083	0,00	0,019	0,196	0,311	2064	49	0,031	0,00	0,00	0,193	0,313
2024	9	0,078	0,00	0,015	0,195	0,312	2065	50	0,031	0,00	0,00	0,193	0,313
2025	10	0,074	0,00	0,012	0,195	0,312	2066	51	0,031	0,00	0,00	0,193	0,313
2026	11	0,070	0,00	0,010	0,194	0,312	2067	52	0,030	0,00	0,00	0,193	0,313
2027	12	0,066	0,00	0,008	0,194	0,313	2068	53	0,030	0,00	0,00	0,193	0,313
2028	13	0,063	0,00	0,006	0,194	0,313	2069	54	0,030	0,00	0,00	0,193	0,313
2029	14	0,061	0,00	0,005	0,194	0,313	2070	55	0,030	0,00	0,00	0,193	0,313
2030	15	0,058	0,00	0,00	0,193	0,313	2071	56	0,029	0,00	0,00	0,193	0,313
2031	16	0,056	0,00	0,00	0,193	0,313	2072	57	0,029	0,00	0,00	0,193	0,313
2032	17	0,054	0,00	0,00	0,193	0,313	2073	58	0,029	0,00	0,00	0,193	0,313
2033	18	0,053	0,00	0,00	0,193	0,313	2074	59	0,029	0,00	0,00	0,193	0,313
2034	19	0,051	0,00	0,00	0,193	0,313	2075	60	0,029	0,00	0,00	0,193	0,313
2035	20	0,049	0,00	0,00	0,193	0,313	2076	61	0,028	0,00	0,00	0,193	0,313
2036	21	0,048	0,00	0,00	0,193	0,313	2077	62	0,028	0,00	0,00	0,193	0,313
2037	22	0,047	0,00	0,00	0,193	0,313	2078	63	0,028	0,00	0,00	0,193	0,313
2038	23	0,046	0,00	0,00	0,193	0,313	2079	64	0,028	0,00	0,00	0,193	0,313
2039	24	0,045	0,00	0,00	0,193	0,313	2080	65	0,028	0,00	0,00	0,193	0,313
2040	25	0,044	0,00	0,00	0,193	0,313	2081	66	0,028	0,00	0,00	0,193	0,313
2041	26	0,043	0,00	0,00	0,193	0,313	2082	67	0,028	0,00	0,00	0,193	0,313
2042	27	0,042	0,00	0,00	0,193	0,313	2083	68	0,027	0,00	0,00	0,193	0,313
2043	28	0,041	0,00	0,00	0,193	0,313	2084	69	0,027	0,00	0,00	0,193	0,313
2044	29	0,040	0,00	0,00	0,193	0,313	2085	70	0,027	0,00	0,00	0,193	0,313
2045	30	0,040	0,00	0,00	0,193	0,313	2086	71	0,027	0,00	0,00	0,193	0,313
2046	31	0,039	0,00	0,00	0,193	0,313	2087	72	0,027	0,00	0,00	0,193	0,313
2047	32	0,038	0,00	0,00	0,193	0,313	2088	73	0,027	0,00	0,00	0,193	0,313
2048	33	0,038	0,00	0,00	0,193	0,313	2089	74	0,027	0,00	0,00	0,193	0,313
2049	34	0,037	0,00	0,00	0,193	0,313	2090	75	0,027	0,00	0,00	0,193	0,313
2050	35	0,036	0,00	0,00	0,193	0,313	2091	76	0,026	0,00	0,00	0,193	0,313
2051	36	0,036	0,00	0,00	0,193	0,313	2092	77	0,026	0,00	0,00	0,193	0,313
2052	37	0,035	0,00	0,00	0,193	0,313	2093	78	0,026	0,00	0,00	0,193	0,313
2053	38	0,035	0,00	0,00	0,193	0,313	2094	79	0,026	0,00	0,00	0,193	0,313
2054	39	0,035	0,00	0,00	0,193	0,313	2095	80	0,026	0,00	0,00	0,193	0,313
2055	40	0,034	0,00	0,00	0,193	0,313	2096	81	0,026	0,00	0,00	0,193	0,313

Figura 5: Projeção da População de Infecciosos para diferentes valores de r /2015 a 2096

Na terceira coluna da Figura 5 e Figura 6 tem-se a projeção da população de infecciosos pela hanseníase em Codó-MA para o parâmetro $r = 1,0232$. Uma vez que $1 < r < 3$ a tendência da população de infecciosos é estabilizar para um ponto fixo $I^* = 1 - \frac{1}{r} \approx 0,023$, o que deve ocorrer no ano de 2151 a partir da iteração de número 136.

Ano	Tempo t	r=1,0232	r=0,5917	r=807	r=1,239	r=1,4548	Ano	Tempo t	r=1,0232	r=0,5917	r=807	r=1,239	r=1,4548
2097	82	0,026	0,00	0,00	0,193	0,313	2138	123	0,024	0,00	0,00	0,193	0,313
2098	83	0,026	0,00	0,00	0,193	0,313	2139	124	0,024	0,00	0,00	0,193	0,313
2099	84	0,026	0,00	0,00	0,193	0,313	2140	125	0,024	0,00	0,00	0,193	0,313
2100	85	0,026	0,00	0,00	0,193	0,313	2141	126	0,024	0,00	0,00	0,193	0,313
2101	86	0,026	0,00	0,00	0,193	0,313	2142	127	0,024	0,00	0,00	0,193	0,313
2102	87	0,025	0,00	0,00	0,193	0,313	2143	128	0,024	0,00	0,00	0,193	0,313
2103	88	0,025	0,00	0,00	0,193	0,313	2144	129	0,024	0,00	0,00	0,193	0,313
2104	89	0,025	0,00	0,00	0,193	0,313	2145	130	0,024	0,00	0,00	0,193	0,313
2105	90	0,025	0,00	0,00	0,193	0,313	2146	131	0,024	0,00	0,00	0,193	0,313
2106	91	0,025	0,00	0,00	0,193	0,313	2147	132	0,024	0,00	0,00	0,193	0,313
2107	92	0,025	0,00	0,00	0,193	0,313	2148	133	0,024	0,00	0,00	0,193	0,313
2108	93	0,025	0,00	0,00	0,193	0,313	2149	134	0,024	0,00	0,00	0,193	0,313
2109	94	0,025	0,00	0,00	0,193	0,313	2150	135	0,024	0,00	0,00	0,193	0,313
2110	95	0,025	0,00	0,00	0,193	0,313	2151	136	0,023	0,00	0,00	0,193	0,313
2111	96	0,025	0,00	0,00	0,193	0,313	2152	137	0,023	0,00	0,00	0,193	0,313
2112	97	0,025	0,00	0,00	0,193	0,313	2153	138	0,023	0,00	0,00	0,193	0,313
2113	98	0,025	0,00	0,00	0,193	0,313	2154	139	0,023	0,00	0,00	0,193	0,313
2114	99	0,025	0,00	0,00	0,193	0,313	2155	140	0,023	0,00	0,00	0,193	0,313
2115	100	0,025	0,00	0,00	0,193	0,313	2156	141	0,023	0,00	0,00	0,193	0,313
2116	101	0,025	0,00	0,00	0,193	0,313	2157	142	0,023	0,00	0,00	0,193	0,313
2117	102	0,025	0,00	0,00	0,193	0,313	2158	143	0,023	0,00	0,00	0,193	0,313
2118	103	0,025	0,00	0,00	0,193	0,313	2159	144	0,023	0,00	0,00	0,193	0,313
2119	104	0,024	0,00	0,00	0,193	0,313	2160	145	0,023	0,00	0,00	0,193	0,313
2120	105	0,024	0,00	0,00	0,193	0,313	2161	146	0,023	0,00	0,00	0,193	0,313
2121	106	0,024	0,00	0,00	0,193	0,313	2162	147	0,023	0,00	0,00	0,193	0,313
2122	107	0,024	0,00	0,00	0,193	0,313	2163	148	0,023	0,00	0,00	0,193	0,313
2123	108	0,024	0,00	0,00	0,193	0,313	2164	149	0,023	0,00	0,00	0,193	0,313
2124	109	0,024	0,00	0,00	0,193	0,313	2165	150	0,023	0,00	0,00	0,193	0,313
2125	110	0,024	0,00	0,00	0,193	0,313	2166	151	0,023	0,00	0,00	0,193	0,313
2126	111	0,024	0,00	0,00	0,193	0,313	2167	152	0,023	0,00	0,00	0,193	0,313
2127	112	0,024	0,00	0,00	0,193	0,313	2168	153	0,023	0,00	0,00	0,193	0,313
2128	113	0,024	0,00	0,00	0,193	0,313	2169	154	0,023	0,00	0,00	0,193	0,313
2129	114	0,024	0,00	0,00	0,193	0,313	2170	155	0,023	0,00	0,00	0,193	0,313
2130	115	0,024	0,00	0,00	0,193	0,313	2171	156	0,023	0,00	0,00	0,193	0,313
2131	116	0,024	0,00	0,00	0,193	0,313	2172	157	0,023	0,00	0,00	0,193	0,313
2132	117	0,024	0,00	0,00	0,193	0,313	2173	158	0,023	0,00	0,00	0,193	0,313
2133	118	0,024	0,00	0,00	0,193	0,313	2174	159	0,023	0,00	0,00	0,193	0,313
2134	119	0,024	0,00	0,00	0,193	0,313	2175	160	0,023	0,00	0,00	0,193	0,313
2135	120	0,024	0,00	0,00	0,193	0,313	2176	161	0,023	0,00	0,00	0,193	0,313
2136	121	0,024	0,00	0,00	0,193	0,313	2177	162	0,023	0,00	0,00	0,193	0,313
2137	122	0,024	0,00	0,00	0,193	0,313	2178	163	0,023	0,00	0,00	0,193	0,313

Figura 6: Projeção da População de Infecciosos para diferentes valores de r /2097 a 2178

5.2 Resultados através do Modedo

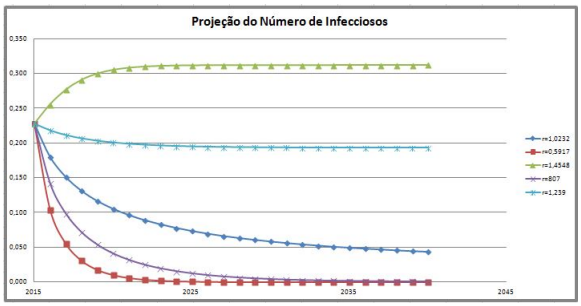

Figura 7: Projeção da População de Infecciosos

A partir da análise do gráfico da Figura 7, obtém-se como resultados:

- Para $r = 1,0232$, a curva indica uma tendência de estabilização da doença no município, o que mostra que a epidemia de hanseníase não será erradicada;
- Para $r = 0,5917$ e $r = 0,807$ as curvas apontam para erradicação da

epidemia. Resultados de ações inovadoras, programas e campanhas promovidas pelo poder público para o controle da epidemia, assim como investimento em saneamento básico, na saúde e educação;

- Para $r = 1,239$ e $r = 1,4548$ a tendência das curvas é estabilizar para valores proporcionais mais altos da população de infecciosos pela Hanseníase

6. Conclusões

A cidade de Codó está entre as cinco cidades com maior coeficiente de Prevalência de Hanseníase no Estado do Maranhão. Este fato serve como justificativa para tratarmos a Hanseníase como um grave e problema de saúde pública.

Diante deste quadro, fez-se uma modelagem matemática para a Hanseníase em Codó - MA através do modelo compartimental de tempo discreto, composto por Equações de Diferenças Finitas $I_{t+1} = rI_t(1 - I_t)$ onde I_t representa os infectados no instante t em anos. Através deste modelo analisou-se a dinâmica da doença a partir do parâmetro $r = 1,0232$ e da proporção inicial da população de infectados $I_0 = 0,228$ obtidos acumulando a série histórica de valores dos casos reais registrados no município, fornecidos pela Secretaria Municipal de Saúde, através do Sistema de Informação de Agravos de Notificação (SINAN).

A análise do modelo proposto mostrou que a tendência da população de infectados é estabilizar para o ponto fixo $I^* = 1 - \frac{1}{r} \approx 0,023$, o que acontecerá no ano de 2151. Isto mostra que a Hanseníase em Codó não será erradicada, pela avaliação do modelo

Referências

Bald, A. A. (1993). Modelos Determinísticos com Equações de Diferenças de Fenômenos Biológicos. Dissertação de Mestrado, IMECC–UNICAMP, Campinas/SP.

Bassanezi, R. C. (2002). *Ensino–aprendizagem com modelagem matemática.* Ed. Contexto, S.Paulo.

Brasil (2015). Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Situação Epidemiológica da Hanseníase noBrasil: análise de indicadores selecionados na última década e desafios para eliminação. in: Boletim epidemiológico. volume 44. http://portalsaude.saude.gov.br/index.php/o-ministerio/principal/leia-mais-o-ministerio/197-secretaria-svs/ 11955-boletins-epidemiologicos-arquivos. Acesso, em: 21/10/2015.

Eidt, L. M. (2004). Breve História da Hanseníase: sua expansão do Mundo para as Américas, o Brasil e o Rio Grande do Sul e sua trajetória na Saúde Pública Brasileira. *Saúde e Sociedade v.13, n.2, p.76-88, maio-ago 2004*, 13:76–88.

Flores, C. D. E. (1995). Modelagem Matemática para a Hanseníase. Dissertação de Mestrado, IMECC–UNICAMP, Campinas/SP.

OMS (2015). Situação Mundial da Hanseníase. http://www.paho.org/bra/index.php?option=com_content&view=article&id=1477:oms-divulga-situacao-mundial-hanseniase&Itemid=777. Acesso, em 28/11/2015.

SES-MA (2015). Seminário Estadual de Avaliação de Controle da Hanseníase elabora estratégias para municípios prioritários. http://www.oimparcial.com.br/ seminario-estadual-de-avaliacao-de-controle-da-hanseniase-elab. Acesso, em: 20/10/2015.

Silva, J. G. S. (2009). Equações de Diferenças Finitas na Modelagem da Hanseníase em Imperatriz - MA. Dissertação de Mestrado, IMECC–UNICAMP, Campinas/SP.

Yang, H. M. (2001). *Epidemiologia Matemática: Estudos dos Efeitos da Vacinação em Doenças de Transmissão Direta.* Campinas, UNICAMP.