PREVISIONE DELLA PROPAGAZIONE DI SARS-COV-2 NELLO STATO DI AMAPÁ, AMAZZONIA, BRASILE, MEDIANTE MODELLAZIONE MATEMATICA

ARTICOLO ORIGINALE

DIAS, Neylan Leal¹, SILVA, Edcarlos Vasconcelos da², PIRES, Marcelo Amanajas³, CHAVES, Daniel⁴, SANADA, Katsumi Letra⁵, FECURY, Amanda Alves⁶, DIAS, Cláudio Alberto Gellis de Mattos⁷, OLIVEIRA, Euzébio de⁸, DENDASCK, Carla Viana⁹, LEAL, Simone Delphim¹⁰

DIAS, Neylan Leal. Et al. **Previsione della propagazione di SARS-CoV-2 nello Stato di Amapá, Amazzonia, Brasile, mediante modellazione matematica.**

Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Anno 05, Ed. 05, Vol.06, pagg. 73-95. Maggio 2020. ISSN: 2448-0959, Link di accesso:

<https://www.nucleodoconhecimento.com.br/salute/previsione-della-propagazione>,

DOI: 10.32749/nucleodoconhecimento.com.br/salute/previsione-della-propagazione

¹ Matematico, dottorando in Ingegneria Meccanica - FEB / UNESP-SP. Professore e ricercatore presso il Corso di Matematica presso l'Università Federale di Amapá (UNIFAP).

² Matematico, studente di dottorato in sanità pubblica - FIOCRUZ / RJ. Professore del Corso di Matematica presso l'Università Federale di Amapá (UNIFAP).

³ Fisico, Master in Fisica (UFF), studente di dottorato presso il Centro brasiliano per la ricerca fisica (CBPF).

⁴ Storico, dottore in storia comparata, professore e ricercatore del corso di storia, dei corsi di laurea in sviluppo regionale e in proprietà intellettuale e trasferimento tecnologico per l'innovazione, Università federale di Amapá (UNIFAP).

⁵ Letteratura, Laurea Magistrale in Scienze dell'Educazione (UNIFAL) presso l'Istituto Federale di Amapá (IFAP).

⁶ Biomedico, PhD in Malattie Tropicali, Professore e ricercatore del Corso di Medicina presso l'Università Federale di Amapá (UNIFAP).

⁷ Biologo, dottore in teoria e ricerca del comportamento, professore e ricercatore presso il Facoltà di Chimica, Campus Macapá, Istituto Federale di Amapá (IFAP).

⁸ Biologo, PhD in Malattie topiche, Professore e ricercatore del Corso di Educazione Fisica presso l'Università Federale del Pará (UFPA).

⁹ Teologo, PhD in Psicoanalisi, ricercatore presso il Centro Ricerche e Studi Avanzati - CEPA.

¹⁰ Matematica, PhD in Modellazione Computazionale, Professore e ricercatore del Corso di Matematica presso l'Università Federale di Amapá (UNIFAP).

RC: 80639

Disponibile in: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/salute/previsione-della-propagazione>

ASTRATTO

Questo articolo presenta un'analisi della diffusione di SARS-CoV-2 in Amapá utilizzando tre approcci. Nella prima, il modello ICL per la pandemia applicata al Brasile è stato utilizzato per implementare una proiezione lineare comparativa per la popolazione di Amapá. Il secondo approccio è stato sviluppato con la soluzione a breve termine del modello SIR standard, dove è stato dimostrato che il comportamento esponenziale tipico descrive in modo soddisfacente i dati per le prime settimane dell'epidemia, ma subito dopo, ci sono prime discrepanze dovute a un improvviso rallentamento dell'evoluzione temporale numero di casi dovuti a misure di isolamento. Questo nuovo regime è opportunamente descritto con il terzo approccio che si basa sul modello vSIR che è una variante del modello SIR. I risultati presentati consentono, da un lato, una migliore comprensione degli scenari già affrontati dalla popolazione e, dall'altro, forniscono proiezioni di breve periodo che saranno costantemente aggiornate sul collegamento [11].

Parole chiave: COVID-19, pandemia, modello matematico, vSIR, SARS-CoV-2.

INTRODUZIONE

Il Coronavirus è una famiglia di virus che provocano infezioni respiratorie che, sebbene registrati dal 1937, solo il 31 dicembre 2019, dopo casi registrati in Cina, è stato scoperto e identificato il nuovo coronavirus come causa della malattia chiamata COVID-19 che è provocata dal coronavirus SARS-CoV-2 (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2020b).

Secondo l'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS), circa l'80% dei casi può essere asintomatico e il restante 20% richiede spesso cure ospedaliere e una piccola parte - circa il 5% - di questi va alle unità di terapia intensiva a causa di una grave insufficienza respiratoria. (OMS, 2020).

RC: 80639

Disponibile in: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/salute/previsione-della-propagazione>

Questo fatto si riflette nella condizione di trasmissione comunitaria installata a livello nazionale in Brasile, dove anche considerando i bassi test del Paese e la costante revisione dei decessi da parte del COVID-19, il tasso medio di mortalità si aggira intorno al 6% e arriva la proiezione dei casi. Il mese di maggio, probabilmente, a sei cifre, si è diffuso principalmente nella regione sud-orientale. In questo senso, la situazione nella regione del Nord è di notevole impatto; a fine aprile si registrava circa il 12% dei casi nazionali in numero assoluto, il che diventa ancora più drammatico considerando la proporzionalità demografica tra le cinque macroregioni nazionali (BATISTA *et al*, 2020b).

A metà maggio, sia l'incidenza che la mortalità per 100mila abitanti al Nord (245,7) erano il doppio dei tassi delle regioni più avanzate in questo stesso quadro, come mostrato nella Tabella 1 (OMS, 2020a).

Tabella 1. Riepilogo di casi, decessi, incidenza e mortalità di covid-19 Brasile e regioni.

	Casos	Óbitos	Incidência (100 mil hab)	Mortalidade (100 mil hab)
Região Sudeste	10.797	349	36	1,2
Região Sudeste	96.938	7938	108,6	9
Região Centro-Oeste	7.531	171	4602	1
Região Nordeste	81.537	4.673	142,9	8,2
Região Norte	45.277	2.987	245,7	16,2
Brasil	242.080	16.118	114,7	7,7

Fonte: Ministério della Salute (2020).

RC: 80639

Disponibile in: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/salute/previsione-della-propagazione>

Nel caso di Amapá, come si può vedere in Tabella 2, nello stesso periodo i dati presentati hanno seguito la tendenza al rialzo, con una media simile a quella regionale sulla mortalità (14,1 dell'AP x 16,2 al Nord), ma con allarmanti numeri per quanto riguarda l'incidenza dei casi (467,3 dell'AP x 245,7 al Nord). Pertanto, c'è urgente bisogno di un'attenzione specifica alla contraddizione visibile tra i modelli di incidenza e mortalità nella regione alla luce della realtà nazionale, dato che, considerando la densità demografica della regione del Nord e il numero di casi pro capite, 5 città del nord erano tra le 20 città con il più alto tasso di mortalità alla fine di aprile (BATISTA *et al*, 2020b).

Tabella 2. Riepilogo dei casi, decessi, incidenza e mortalità del covid-19 Nord Region e stati

Estados	Casos	Óbitos	Incidência (100 mil hab)	Mortalidade (100 mil hab)
AP	3.952	119	467,3	14,1
RO	1.963	74	110,5	4,2
AC	1.997	60	226,4	6,8
PA	13.864	1.239	161,2	14,4
RR	1.791	51	295,7	8,4
TO	1.382	31	87,9	2
AM	20.328	1.413	490,5	34,1
Norte	45.277	2.987	245,7	16,2

Fonte: Ministério della Salute (2020).

RC: 80639

Disponibile in: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/salute/previsione-della-propagazione>

Data la configurazione dei sistemi sanitari pubblici nazionali e regionali, ci sono diversi fattori che, a loro volta, sono tipicamente legati ai paesi in via di sviluppo - come il Brasile - come il basso numero di letti con respiratori o capacità di trattamento intensivo, il ritardo tecnologico che influenza la qualità dei test, assenza di dispositivi di protezione individuale (EPI), carenze nei sistemi sanitari delle città, saturazione del numero di persone per dormitorio in abitazioni in regioni ad altissima densità demografica e l'inesperienza brasiliana con situazioni di reclusione e / o limitazione del traffico - rendono le proiezioni epidemiologiche e infettive su COVID-19 ancora più incerte. Tali incertezze devono osservare, anche se con la dovuta attenzione, la modellazione macroscopica che mira alla proiezione più vicina possibile 01 (PIRES; CARVALHO; XAVIER, 2020).

COVID-19 IN AMAPÁ E NELLA REGIONE METROPOLITANA DELLO STATO

Con l'arrivo del Coronavirus ad Amapá il 25 marzo 2020, la cui regione metropolitana comprende una popolazione secondo l'IBGE di circa 845.000 abitanti, si sviluppa su 16 comuni con un tasso di crescita demografica del 2,02% (IBGE, 2020).

È importante avere un quadro il più accurato possibile, in questo senso osservare i modelli comportamentali di circolazione delle persone, l'igiene e la cura con la salute ospedaliera possono influenzare la diffusione del COVID-19 ad Amapá, considerando anche i modelli comportamentali dei valori assoluti Di casi notificati (SVS, 2020).

Tangenti da una diffusione sfrenata del nuovo coronavirus ad Amapá, pensiamo alle famiglie alienate dalla forza lavoro e in isolamento sociale, a cui è stato impedito di svolgere la loro professione. In queste condizioni, l'unica soluzione è aspettare che la malattia passi, provocando altri problemi come ansia, depressione, stress post-traumatico, irritabilità, tra gli altri impatti psicologici della quarantena. Per la loro risposta agli impatti negativi, le persone soffrano anche di fatti predittivi come:

RC: 80639

Disponibile in: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/salute/previsione-della-propagazione>

paura, tristezza, senso di colpa, confusione, per non essere in grado di trovare da sole una soluzione lavorativa o per hobby. Parte di questi contesti psicologici citati è percettibile in tutte le classi e livelli sociali dello Stato di Amapá, a cominciare principalmente dagli operatori sanitari che lavorano e sono sempre in prima linea in centri di cura inadeguati e insufficienti per anni vissuti dietro un sistema politico allarmante della disuguaglianza democratica (BROOKS, 2020).

Nella catalogazione che esiste ai vari livelli dei gruppi sociali urbani e periferici nello stato di Amapá, una città come Macapá e Santana sono i due comuni in cui la malattia è più concentrata. Secondo la Soperintendenza per la sorveglianza sanitaria SVS, questa dichiarazione ricercata si è basata sul periodo dal 14 al 27 aprile, mostrando sempre le caratteristiche di concentrazione del COVID-19 nel centro della città di Macapá, dove tutto è iniziato, questo è dovuto a persone che viaggiato all'estero dello stato e tornato. Si conclude che quindi l'effetto dell'espansione della contaminazione è dato dalle persone importate che chiameremo Class A e B (Socioeconomic Classification Criterion). In parte contraria alle conferme dell'epicentro sotto pressione del COVID-19 nel centro di Macapá, c'è Santana che ratifica le sue statistiche di concentrazione in tutte le possibili aree urbane e periferiche di sfollamento intercity necessario per motivi familiari, residenziali o meno (contatto diretto) , anche con le misure di contenimento applicate dalle barriere sanitarie. Questo panorama sarà presentato dal gruppo di persone di Classe C, D, E, inquadrare nella dipendenza dall'uso del trasporto collettivo e privato (SVS, 2020).

In questa idea commentata sopra, abbiamo integrato un modello quadro per le relazioni di classi o gruppi sociali di isolamento, misurato dal reddito e dal benessere tra le persone Amapá (IN LOCO, 2020).

RC: 80639

Disponibile in: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/salute/previsione-della-propagazione>

Tabella 3. Relazione comparata di isolamento sociale per gruppo socioeconomico.

Grupos Sociais por Classe	Isolamento Social	Bem Estar Social	Cidade
A e B	40% em casa respeitando o decreto	Variante conforme o comportamento da equidade do início da pandemia	Macapá
C, D e E	60% não respeitando o decreto de isolamento social	Invariante conforme até um ponto convergente das informações de prevenção dada do início da pandemia	Macapá, Santana e demais Municípios do Estado

Lo scenario del tavolo è solo una piccola dimostrazione della realtà comportamentale sociale della popolazione Amapá, per quanto riguarda il valore della loro responsabilità di mantenere il proprio benessere dalla durata del decreto stabilito dalle agenzie del governo statale. Amata in casa dalle notizie serializzate dalla pandemia, la foto mostra il 40% delle classi A e B disposte a soddisfare l'isolamento, parte di questo adempimento è dovuto a queste persone che hanno aziende, posti di lavoro e stipendi fissi di dipendenti pubblici in carriera. Contrariamente alle altre classi sociali rimanenti C, D ed E, esiste un criterio dello standard salariale combinato tra parti contributive del reddito fisso familiare (dipendenza finanziaria) e lavori temporanei formali e informali per il benessere atteso, indipendentemente dal indipendentemente dal fatto che sia o meno un funzionario pubblico o di formazione accademica. Questo è il motivo della crescente violazione dell'isolamento sociale, che raggiunge il 60% con una tendenza a crescere ancora di più durante i mesi in corso (IBGE-AMAPÁ, 2020).

RC: 80639

Disponibile in: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/salute/previsione-della-propagazione>

A seguito della convalida dei fatti in questione da parte di ciascuna classe sociale intervenuta per ragioni pluraliste, la figura 1 è delineata in una dichiarazione generale che mostra l'indice di irresponsabilità della popolazione riguardo all'isolamento sociale nello Stato di Amapá città di Macapá Capitale e in altri Comuni nel periodo di gennaio Dal 30 al 14 maggio 2020 con tendenza a variare, dividere o regredire (IN LOCO, 2020).

Figura 1. Indice di isolamento sociale per Amapá dal 30 gennaio al 14 maggio.

Fonte: In Loco (2020).

Analisi statistiche di isolamento sociale, sono ancora varianti incerte per quanto concordato in pratica dalla popolazione Amapá, la variazione è ancora attesa dal periodo grafico fino al 14 maggio 2020, considerato il compimento del rimanere a casa e partire solo se necessario o di emergenza. Le azioni delle barriere di ispezione sanitaria saranno la base per controllare l'intenso flusso di persone in giro per la città. E anche se ci sono abbastanza casi sintomatici sospetti del virus così informato, il risultato incontrollabile atteso è ancora monitorato. (SVS, 2020)

OBBIETTIVO

Questa ricerca mira ad analizzare l'incidenza dei casi confermati di COVID-19 in Amapá / AP utilizzando metodi statistici e modelli matematici al fine di comprendere

RC: 80639

Disponibile in: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/salute/previsione-della-propagazione>

le dinamiche di contagio del virus, fornendo informazioni per promuovere una strategia di combattimento più efficace contro il covid-19 .

Tra le altre specifiche di guida, si intende verificare il comportamento forzato di restrizione sociale nell'ambiente pubblico e domestico, data come una delle condizioni assistenziali prioritarie per la proliferazione di riduzione del contagio da parte del Coronavirus.

METODOLOGIA

In generale, sono stati impiegati due approcci di modellazione per ottenere *insights* sull'evoluzione epidemica correlata a Sars-CoV-2. Da un lato, c'è uno sforzo per sviluppare modelli sofisticati che tengano conto di diverse variabili che possono descrivere le dinamiche epidemiche. Un tale approccio è stato utilizzato, ad esempio, in Zhang (2020) con un sistema di 15 equazioni differenziali. D'altra parte, è stata adottata anche una visione matematica incentrata sulle principali caratteristiche epidemiche del processo contagioso di successo per la curva epidemica del coronavirus attraverso versioni primarie o estese dei modelli SIR (TODA, 2020; KATUL, 2020; ZHONG, 2020).

Il modello epidemiologico SIR proposto da Kermack e McKendrick nel 1927 (HETHCOTE, 2000) è uno dei modelli classici utilizzati per descrivere l'evoluzione del processo di contagio delle malattie infettive. Questo modello composto da equazioni differenziali impiega la strategia compartimentale e divide, in relazione alla malattia, la popolazione in individui che possono contrarre, individui che possono trasmettere e individui che sono guariti e non sono soggetti a nuova contaminazione chiamata sensibile (*S*), infetta (*I*) e recuperato (*R*) rispettivamente.

RC: 80639

Disponibile in: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/salute/previsione-della-propagazione>

Matematicamente, un modello SIR può essere rappresentato utilizzando le seguenti equazioni differenziali:

$$\begin{aligned}\frac{dS}{dt} &= -\frac{\beta IS}{N}, \\ \frac{dI}{dt} &= \frac{\beta IS}{N} - \gamma I, \\ \frac{dR}{dt} &= \gamma I,\end{aligned}\tag{01}$$

Dove β è il tasso di trasmissione della malattia, γ è il tasso di recupero degli individui, entrambi sono parametri positivi e caratteristici dei dati in analisi.

Al fine di ottimizzare e stimare questi parametri in modo che i casi riportati e simulati siano approssimativamente uguali, i valori iniziali vengono utilizzati per le variabili a tre stati $S(0)$, $I(0)$ e $R(0)$.

Il valore iniziale $S(0)$ è la comunità di popolazione colpita dall'epidemia, mentre $I(0)$ è il numero di casi confermati che possono avere qualsiasi valore, ma non zero. Possiamo impostare $R(0)$ a zero se lo spread e gli orari di inizio della simulazione sono gli stessi. La velocità di trasmissione si riduce monotonicamente nel tempo (HARKO, 2014).

Risolvendo il sistema (1) determiniamo la funzione di soluzione per la popolazione suscettibile e otteniamo (BATISTA, 2020).

$$S = S_0 \exp\left[-\frac{\beta}{N\gamma}(R - R_0)\right]\tag{02}$$

RC: 80639

Disponibile in: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/salute/previsione-della-propagazione>

Tra i parametri rilevanti utilizzati nei modelli epidemiologici come il SIR c'è la riproducibilità di base fornita da R_0 (nota come velocità di riproduzione) definita da $R_0 = \beta/\gamma$. Il tasso R_0 è influenzato, tra diversi fattori, dal numero di persone suscettibili nella popolazione con cui i pazienti affetti sono in contatto e può essere descritto come il numero medio di persone infettate da un singolo individuo (DELAMATER *et al*, 2019).

Secondo Ghani e Ferguson (2020), il valore R_0 per COVID-19 è variato tra 1 e 7 (più precisamente da 1,1 a 6,95) durante lo sviluppo dell'epidemia. Come indicato da Delamater *et al* (2019), un $R_0 < 1$ mostra che il numero di individui infetti diminuisce con il tempo e l'epidemia tende a sradicare, per valori di $R_0 > 1$ si presume che l'epidemia debba persistere nella popolazione a lungo termine.

Quindi, prendendo il limite quando t tende all'infinito, il numero di persone suscettibili ottenuto è:

$$S_{\infty} = S_0 \exp \left[-\frac{\beta}{N\gamma} (R_{\infty} - R_0) \right] \quad 03$$

Dov'è l'importo finale recuperato. Considerando che il numero finale di persone infette è zero, abbiamo:

$$N = S_{\infty} + R_{\infty} \quad 04$$

Da

(03) otteniamo

$$R_{\infty} = N - S_0 \exp \left[-\frac{\beta}{N\gamma} (R_{\infty} - R_0) \right] \quad 05$$

RC: 80639

Disponibile in: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/salute/previsione-della-propagazione>

Supponendo che i dati disponibili siano una serie temporale del numero totale di casi $C = R + I$ parametri ei valori iniziali sono definiti minimizzando la differenza tra i valori correnti ei numeri dei casi calcolati:

$$\|C_t - \hat{C}_t(\beta, \gamma, S_0)\|^2 = \min \quad 06$$

dove $C_t = (C_1, C_2, \dots, C_n)$ è il numero di casi al tempo $t = 1, 2, \dots, n$ e il vettore corrisponde ai valori stimati negli stessi momenti valori. La minimizzazione in questione è stata ottenuta dalla funzione *fminsearch* di MATLAB secondo Batista (2020).

Sottolineiamo che nel suddetto approccio ci sono tre parametri da stimare, vale a dire $\{\beta, \gamma, N\}$ dove N è la dimensione effettiva della popolazione. Indichiamo questa variante con l'acronimo vSIR per differenziarla dal modello SIR standard dove N è la dimensione totale della popolazione che è una quantità definita a priori. A livello computazionale, la soluzione numerica del sistema di equazioni vSIR è implementata con il software MATLAB utilizzando il metodo Runge-Kutta del quarto ordine esplicito (BATISTA, 2020).

Tutte le analisi con il modello matematico di questo studio sono state condotte con i dati dei casi confermati di covid-19 per lo Stato di Amapá, messi a disposizione dal Dipartimento della Salute dello Stato e dal Ministero della Salute del Brasile, entrambi online, nel caso di dati secondari, per questo motivo, non è stato necessario registrare la ricerca in un comitato etico.

RISULTATI E DISCUSSIONI

ANALISI DEL PROGETTO DEL MODELLO IMPERIALE DEL COLLEGE LONDON

Presentiamo in questo argomento alcune proiezioni locali realizzate con il modello *Imperial College of London* (ICL), che hanno cercato di guidare le politiche pubbliche di emergenza nel controllo epidemiologico-infettivo del COVID-19 per i paesi colpiti, ovviamente tutti i modelli devono essere attenti in un momento immediato all'espansione transoceanica della pandemia, considerando i fattori aggravanti che si verificano in ciascuna regione.

Pertanto, il "Modello ICL" descrive i cinque scenari come segue:

A) Un'epidemia assoluta - uno scenario in cui non viene intrapresa alcuna azione.

B) Mitigazione, inclusa la distanza sociale a livello di popolazione - valutiamo la massima riduzione nella scala finale dell'epidemia che può essere ottenuta attraverso una riduzione uniforme della velocità con cui gli individui comunicano, ad eccezione della completa soppressione.

C) Mitigazione, inclusa una maggiore distanza sociale dagli anziani - come (B), ma con individui di 70 anni o più, riducendo i loro tassi di contatto sociale del 60%.

D ed E) Soppressione: esploriamo diversi trigger epidemiologici (morti per 100.000 abitanti) per l'attuazione di un distacco sociale intensivo su larga scala (modellato come una riduzione del 75% dei tassi di contatto interpersonale) con l'obiettivo di sopprimere rapidamente la trasmissione e ridurre al minimo casi a termine e decessi.

Per questi scenari, non produciamo stime finali delle dimensioni, ma illustriamo il loro impatto su configurazioni rappresentative. Per Tardia si considera condurre test di massa, isolare casi positivi e monitorare persone vicine a quelle diagnosticate da 1,6

RC: 80639

Disponibile in: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/salute/previsione-della-propagazione>

morti ogni 100mila abitanti a settimana. Per Precoce, le stesse misure di prima, ma adottate da 0,2 morti ogni 100mila abitanti a settimana (GHANI; FERGUSON, 2020).

Gli scenari esposti da ICL per una popolazione in Brasile di oltre 200 milioni di persone attualmente, sono estrapolati (per la premessa fondamentale di minimizzare gli impatti per la popolazione) sono i seguenti: Scenario A - Nessuna misura di mitigazione; Scenario B - Con distanza sociale dall'intera popolazione. Nello Scenario A, la situazione brasiliana è spericolata e, a seconda dello scenario, con percentuali di persone infette che vanno dall'88% e scendono fino al 5% della popolazione, fino a un numero di morti che va dall'1% allo 0,02%. C'è anche un terzo scenario - C - che lavora con la distanza sociale e rafforza la distanza tra gli anziani. Infine, vengono considerati gli scenari D ed E, corrispondenti rispettivamente alla soppressione tardiva e precoce, essendo tra gli scenari catastrofici, quelli di minore distruzione quantitativa, come si può vedere di seguito.

Abbiamo costruito, per amor di apprezzamento, la seguente proiezione nazionale, secondo il Modello ICL.

RC: 80639

Disponibile in: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/salute/previsione-della-propagazione>

Tabella 4. Proiezioni per il Brasile secondo il modello ICL.

	A	B	C	D	E
	Não mitigada	Mitigação	Mitigação com ênfase em idosos	Supressão tardia	Supressão precoce
População Infectada	188 Mi	122 Mi	120 Mi	50 Mi	11 Mi
% infectados	88	57	57	23	5
Mortes	1.15 Mi	620.000 aprox	530.000 aprox	206.000 aprox	44.000 aprox
% mortes	1	0,3 aprox	0,25	0,1	0,02
Necessitando internação	6.2 Mi	3.5 Mi	3.2 Mi	1.1 Mi	250.000 aprox
Necessitando UTI	1.5 Mi	830.000 aprox	700.000 aprox	97.000 aprox	57.000 aprox

Fonte: prodotto dagli autori con dati di ricerca.

Alla fine di marzo, lo scenario attuale indicava un'accelerazione del numero di casi rilevati, circa una settimana dopo le tensioni intorno al confino, come si può vedere nella proiezione seguente. I dati del Ministero della Salute, consolidando le Segreterie Sanitarie di Stato, indicano 5.812 contagiati e 202 decessi nel 36° giorno dopo il Primo Caso Confermato. Ci sono voluti 22 giorni fino al 500 ° caso, e da quel momento in poi al 1000 ° ci sono voluti solo 2 giorni, raddoppiando in tre giorni (2000) e raggiungendo il doppio del 2000 in 5 giorni. Negli ultimi 15 giorni di marzo, quindi, c'è stata una forte accelerazione (PRADO, M. *et al.*, 2020).

È già noto che il Brasile sta vivendo uno scenario di sottostima dall'inizio della pandemia, con un tasso di notifica stimato in Amapá di circa l'11,2%, come sottolineato in uno studio nella prima metà di aprile (PRADO *et al.*, 2020). Questo fattore può essere osservato a causa dei problemi di pianificazione per lo 'scoppio' della crisi - nonostante sia stato previsto dall'ultima settimana di gennaio, quando la proliferazione ha iniziato a superare il continente asiatico - e del basso numero di test

RC: 80639

Disponibile in: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/salute/previsione-della-propagazione>

, a loro volta, sono per lo più applicati a individui sintomatici, trascurando l'enorme potenziale dei contaminanti asintomatici; cioè che sono già stati infettati dal virus, ma non avendo sintomi, si sentono a proprio agio per il traffico gratuito e migliorano la trasmissione. Andrebbero soppesati anche fattori come le tensioni dalla fine di marzo intorno a una parte significativa della popolazione che contesta il confinamento o minimizzarne gli effetti, rendendo un peso il carattere elastico e informale delle promozioni di libera circolazione. Precedente (PRADO *et al.*, 2020).

Nel caso di Amapá, a marzo è stata osservata la possibile escalation, sebbene mantenuta in quella progressione in corso, per i casi autoctoni - già in trasmissione comunitaria (AMAPÁ, 2020a) - a causa delle battute d'arresto con l'autorizzazione ai test locali (autorizzati solo in 27 marzo - e con la riduzione del tempo di progressione dal 26 marzo. Per quanto riguarda il mese di marzo, tra il 19 marzo e il 24 marzo, abbiamo registrato 1 caso per 5 giorni; tra il 25 e il 26 marzo siamo passati al 2 ° caso; tra 27 e 28 marzo, siamo passati al 3°; il 29 marzo, 6 casi; 30 marzo, 8 casi e 31 marzo, 10 casi. Ad aprile, il tasso osservato di casi è aumentato a rischio di mancanza di controllo ambientale (AMAPÁ, 2020a)

Considerando anche che le ultime proiezioni IBGE riguardano una popolazione di 845.000 persone stimate per Amapá (IBGE, 2020), se la modellizzazione ICL per lo stato è proiettata, in modo lineare rispetto allo scenario nazionale - che di per sé ne rappresenta già uno in più fattore di distorsione - avremmo il seguente scenario di previsione, severamente estrapolato per essere accumulato sull'intero primo ciclo epidemiologico di propagazione del COVID-19 di seguito:

RC: 80639

Disponibile in: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/salute/previsione-della-propagazione>

Tabella 5. Proiezione lineare comparativa del modello ICL p. COVID-19 ha presentato domanda in Brasile per Amapá.

	A	B	C	D	E
	Não mitigada	Mitigação	Mitigação com ênfase em idosos	Supressão tardia	Supressão precoce
População Infectada	743.000 aprox	480.000 aprox	480.000 aprox	194.000 aprox	42.000 aprox
% infectados	88	57	57	23	5
Mortes	8.400 aprox	2.500 aprox	2.100 aprox	845	160
% mortes	1	0,3	0,25	0,1	0,02
Necessitando internação	22.000 aprox	12.000 aprox	11.000 aprox	3.600 aprox	1500 aprox

Fonte: prodotto dagli autori con dati di ricerca.

A causa del Decreto del Governo dello Stato di Amapá (GEA) n. 1414/2020, che ha promosso un'ampia riduzione delle attività economiche, sociali e culturali, e l'ampia adozione di azioni a favore del decentramento delle persone, scenario A è imminente scartato nell'estrappolato fintanto che l'isolamento è mantenuto. La preoccupazione fondamentale diventa, in modo cogente, il mantenimento dell'isolamento con misure di contenimento intelligente dei flussi per evitare l'indisciplina sociale in relazione a questo, mitigare il più possibile gli schemi dello scenario B e C per avvicinarsi allo scenario realistico D, di soppressione tardiva - che renderebbe, in numero assoluto, la crisi navigabile ad Amapá, data la sua densità demografica e il suo contingente di popolazione. Il motivo dell'ottimismo è a favore delle azioni rapide dei municipi metropolitani e principalmente del governo dello stato; tuttavia, le condizioni tecniche di notifica, nonché il livello quantitativo e

RC: 80639

Disponibile in: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/salute/previsione-della-propagazione>

qualitativo delle strutture e dei posti letto per il ricovero o la terapia intensiva, suggeriscono un'emergenza quando si conferma un proliferare di casi. Per questo motivo, il contenimento della trasmissione della comunità è risultato essere l'opzione migliore. Le previsioni presentate nella proiezione di un team congiunto della Fondazione Getúlio Vargas e della Fondazione Oswaldo Cruz (FGV/Fiocruz) puntano in modo convergente verso gli effetti positivi delle restrizioni sociali e di trasferimento combinate rispetto a una prossima ondata nazionale accumulata sull'intero primo periodo ciclo epidemiologico di propagazione del COVID-19 (ZORZETTO, 2020).

È importante ribadire la preoccupazione per gli ovvi adattamenti della modellistica ICL in relazione alle caratteristiche socio-culturali e socio-economiche del nostro Paese. Allo stesso tempo, i dati degli scenari di modellazione ICL sono numeri estrapolati e possono, in questo senso, costituire un'esagerazione. In tal senso, in modo preventivo, verificando la propensione per i prossimi giorni di moltiplicazione dei casi nazionali e l'impianto ancora attuale del sistema di sperimentazione locale e l'arrivo imminente di esami rapidi di prova - che rischiano di essere insufficienti e concentrarsi sulla popolazione sintomatica, che ritarda il miglioramento di qualsiasi proiezione a causa del periodo di incubazione immediato al contagio e, quindi, confonde la reale percezione del quadro epidemiologico - si ritiene probabile che il passaggio dallo Scenario D allo Scenario C sia possibile. Se questa transizione sarà confermata, le prospettive di cartolarizzazione della città attraverso la suddivisione in zone del traffico di persone e merci saranno inevitabili (modello di confinamento di Wuhan rafforzato dalla restrizione al traffico intrazonale) per raggiungere l'auspicabile restrizione del 60% -75%, notando che la mappatura dei casi da la regione sarebbe determinante positivamente nell'aiutare a contenere la trasmissione della comunità in modo più accurato e osservare sia le persone contaminate che quelle anziane. Decisivi in tal senso sono l'avanzamento e la massificazione dei test, la distanza sociale, la prioritizzazione della localizzazione dei pazienti anziani e comorbosi, nonché l'isolamento di quelli diagnosticati (ZORZETTO, 2020).

RC: 80639

Disponibile in: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/salute/previsione-della-propagazione>

MODELLAZIONE VSIR PER LA VALUTAZIONE DELLA CURVA DEI CASI ACCUMULATI DI COVID-19 IN AMAPÁ

La serie storica con casi confermati di covid-19 per lo Stato di Amapá appartiene alla sezione dal 25 marzo al 12 maggio. In questo periodo, lo Stato di riferimento ha presentato la seguente evoluzione di individui risultati positivi, mortali e guariti:

Figura 2 Casi confermati di covid-19 (A). Evoluzione della mortalità (B). Casi recuperati (C).

Come mostrato nella figura 2, in (A), Amapá ha impiegato 50 giorni per lasciare 1 caso per 2910 (dal 25 marzo al 12 Maggio Alla data di chiusura dello studio, lo stato aveva uno dei più alti tassi relativi di casi con circa 355,3 per 100.000 abitanti, attirando l'attenzione dell'intero paese perché è uno stato con meno di 1 milione di abitanti.

Sulla base di questo scenario, all'inizio dell'evoluzione temporale epidemica per Amapá, possiamo assumere $S \cong N$. Quindi, l'equazione per dl/dt nel sistema (1) diventa:

RC: 80639

Disponibile in: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/salute/previsione-della-propagazione>

$$\frac{dI}{dt} \cong (\beta - \gamma)I = \gamma(R_0 - 1)I \quad 07$$

Dove $R_0 = \beta/\gamma$.. Dopo un'integrazione diretta otteniamo

$$I(t) \cong I_0 e^{(R_0 - 1)\gamma t} \quad 08$$

Per ottenere una prima stima di R_0 applichiamo una linearizzazione dell'equazione precedente. In questo modo otteniamo $\log(I(t)) = mt + \log(I_0)$, dove abbiamo la pendenza $m = \gamma(R_0 - 1)$. L'adattamento con gli strumenti statistici del linguaggio di programmazione R fornisce $m = 0.21547 \pm 0.01163$. Sulla base della letteratura (TODA, 2020; LI, 2020; READ, 2020) assumiamo γ nell'intervallo $[0.1, 0.6]$. Con questo abbiamo una stima preliminare di R_0 tra $[1.340, 3.271]$ che è un intervallo confrontabile con i valori riportati nelle tabelle riassuntive degli articoli di revisione su R_0 (LIU, 2020; ALIMOHAMADI, 2020).

Per quanto riguarda la fase di crescita esponenziale dei casi covid-19, nella Figura 3 c'è un soddisfacente accordo tra i dati osservati e la previsione teorica (curva rossa) fino al 14 aprile. Tuttavia, subito dopo c'è una discrepanza iniziale del *fit* preliminare con i dati, il che solleva interrogativi sul motivo di tale comportamento. Una possibile giustificazione di questo cambiamento di tendenza deriva dalla percezione che il periodo coincida con l'inizio delle politiche pubbliche per evitare il contagio. Tra questi c'è il Decreto n. 1497 del 3 aprile 2020 del Governo dello Stato di Amapá, che determina immediatamente l'isolamento sociale e la sospensione dei servizi considerati agglomerati fisici, con conseguente nuovo orario di apertura e mantenimento solo degli stabilimenti di estrema necessità aperto. Pertanto, si osserva che le misure di isolamento hanno un impatto sul numero di casi, dopo il ritardo di sedici giorni relativo al periodo di incubazione.

RC: 80639

Disponibile in: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/salute/previsione-della-propagazione>

Figura 3. Crescita esponenzial inicial.

Mentre la figura 3 presenta un'analisi a breve termine con aggiustamento esponenziale (da 25 marzo a 14 aprile), nelle analisi successive i dati confermati dell'epidemia vengono confrontati con il modello matematico SIR standard e la variante impiegata da Batista (2020) (che chiamiamo vSIR, per brevità).

RC: 80639

Disponibile in: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/salute/previsione-della-propagazione>

Figura 4. Simulação VSIR e intervalo de confiança.

La simulazione del modello vSIR dal 25.03 al 12.05.2020 mostrata in Figura 03 mostra l'intervallo di confidenza (IC) che definisce i limiti inferiore e superiore dei valori simulati al fine di dare una probabilità del 95% di includere il valore reale di casi predittivi. Ci sono due punti anomali che si verificano rispettivamente il 1 maggio 2020 e il 2 maggio 2020, venerdì e sabato. Queste date che riguardano la festa nazionale della festa dei lavoratori e il cui numero di contagiati non corrisponde alle aspettative sollevano interrogativi che coinvolgono il metodo procedurale di raccolta delle informazioni che verranno approfondite successivamente da un'analisi dei dati in loco. È anche interessante notare che il modello è stato calibrato sulla base dei dati effettivi delle persone infette dall'inizio della pandemia nello stato.

RC: 80639

Disponibile in: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/salute/previsione-della-propagazione>

Figura 5. Curva di previsione dei casi fino al 31.05.2020

È possibile osservare in figura 5 la curva di previsione dei casi Covid-19 nello stato fino al giorno 31.05. Sembra che, fino al giorno 17.05 (domenica), il modello stima che lo stato avrà il numero di casi infetti vicino a 4mila (3651-4036), nella settimana successiva il giorno 24,05 questo numero sarà vicino al 5.000 casi (4700-5196), e infine fino alla fine di maggio, il 31 maggio, questi valori ruotano intorno a 5.500 casi (5469-6044). che è quasi il doppio di quanto registrato il 12.05. L'area verde da 12.05 a 24.05 rappresenta le date in cui il modello è più efficace nella previsione (date di chiusura), mentre l'area rossa rappresenta le date in cui il modello può fallire nella previsione (BATISTA, 2020).

I parametri stimati per i dati Amapá, utilizzando la programmazione *fminsearch* di MATLAB, sviluppata da Batista (2020), sono stati i seguenti:

RC: 80639

Disponibile in: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/salute/previsione-della-propagazione>

Tabella 6. Parametri stimati nel modello V_{sir}.

R_0	β	γ
2.11	0.216	0.102

Il valore stimato del tasso di riproduzione di base R_0 è in accordo con i valori riportati dalla letteratura specializzata nella revisione sistematica e nei metadati come in Liu (2020) e AliMohamadi (2020). Nel grafico di figura 04 si osserva anche un valore = 7166, che è una proiezione del numero di casi per i giorni successivi ai dati disponibili. Nonostante il nome, non si riferisce al numero finale atteso se i dati disponibili sono ancora nelle fasi iniziali e intermedie dell'evoluzione epidemica, così come la situazione attuale dei dati nell'AP. Come vedremo di seguito, il modello vSIR fornisce previsioni a 5-10 giorni in linea con i dati osservati.

Nella tabella 7 è possibile osservare i valori previsti dei casi, con un IC del 95%. Vale la pena ricordare che questi valori sono validi se non vi è alcun cambiamento nelle politiche pubbliche, o negli atteggiamenti individuali significativi, verso misure più severe in relazione all'isolamento.

Tabella 7. Previsione del numero di infetti al giorno.

Data	Intervalo de casos previstos	
	Mínimo	Máximo
13.05.2020	2975	3288
14.05.2020	3146	3477
15.05.2020	3316	3665
16.05.2020	3485	3852
17.05.2020	3651	4036
18.05.2020	3815	4216
19.05.2020	3975	4394
20.05.2020	4130	4565
21.05.2020	4281	4732
22.05.2020	4427	4893
23.05.2020	4567	5048
24.05.2020	4700	5196
25.05.2020	4829	5338
26.05.2020	4951	5472
27.05.2020	5055	5600
28.05.2020	5176	5721
29.05.2020	5280	5835
30.05.2020	5377	5944
31.05.2020	5469	6044

Fonte: prodotto dagli autori con dati di ricerca.

Considerando la tabella di previsione dei casi accumulati di infetti da covid-19 ad Amapá, il 31 maggio 2020, il modello prevede che lo Stato possa avere tra 5469 e

RC: 80639

Disponibile in: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/salute/previsione-della-propagazione>

6044 casi accumulati. Tenendo conto dell'attuale p -proporzione di letalità calcolata per questa unità federativa che il 12 ° (ultimo giorno di dati effettivi raccolti) il suo valore era $p = 2,95\%$. Mantenendo questo livello, il 31 maggio potremmo avere tra 161 e 178 decessi a causa della malattia.

Per quanto riguarda il numero base di riproduzione R_0 il modello vSIR ha anche generato una serie temporale per il monitoraggio giornaliero dell'evoluzione del monitoraggio giornaliero R_0 finalizzato a conoscere l'entità dettagliata dell'evoluzione della malattia, oltre ad essere un indicatore del pubblico non farmaceutico politiche per la mitigazione della malattia COVID-19.

Figura 6 Evoluzione giornaliera di R_0 .

L'evoluzione giornaliera di R_0 mostra che i valori più bassi si sono verificati tra il 26 aprile ($R_{0\ 26/04} = 1.12$) al 3 maggio ($R_{0\ 03/05} = 1.1$) questo periodo di basso R_0 potrebbe indicare che il decreto governativo del 03 aprile ha contribuito a ridurre il tasso di riproduzione di base, ma non abbastanza da portarlo a meno di 1, che è l'ideale per controllare l'epidemia. Dal 3 maggio R_0 è nuovamente salito, essendo sul 12/5 al livello di 2.11, questo aumento può indicare un allentamento della quarantena da parte della popolazione, il cui rapporto con R_0 è inverso, riducendo la quarantena,

RC: 80639

Disponibile in: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/salute/previsione-della-propagazione>

aumentando R_0 e viceversa. versa, come riportato in Dandekar e Barbastathis (2010).

LIMITAZIONI DELLO STUDIO

Mentre nel modello SIR ci sono solo due parametri da stimare (ovvero la velocità di trasmissione β e il recupero γ), nel modello vSIR abbiamo la possibilità di stimare un ulteriore parametro che è la dimensione effettiva della popolazione N . Con questi tre parametri $\{\beta, \gamma, N\}$ siamo stati in grado di descrivere in modo soddisfacente le serie temporali per il numero di casi confermati nello stato di Amapá.

La nostra modellazione può anche essere migliorata in lavori futuri considerando le seguenti limitazioni:

- Esiste una limitazione dell'applicazione lineare e generale del Modello ICL, da un lato, e dall'altro, eventuali inesattezze devono essere osservate a causa dell'interdipendenza e complessità delle condizioni specifiche dello sviluppo umano in Brasile - già menzionate, tali come concentrazione demografica accentuata in dozzine di città, condizioni precarie di servizi igienico-sanitari di base nelle comunità svantaggiate, abitazioni con residenti per stanza al di sopra di quanto raccomandato dall'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS), assenza storica di altre esperienze di emergenza sanitaria con misure di queste dimensioni e standard. In altre parole, il Brasile ha una proporzione specifica e condizioni demografiche, che aumentano l'imprecisione dei modelli generali.
- La sottostima dei casi di covid-19 è un fattore che è stato segnalato più volte in tutto il mondo, che nel caso brasiliano, a causa della ridotta quantità di test, rende critica l'incidenza di questo fattore. Ad esempio, recentemente circa ~86% (intervallo di confidenza al 95%: 82-90%) della sottostima è stato stimato nelle prime fasi dell'evoluzione epidemica quando le restrizioni di viaggio non erano ancora state imposte (LI, 2020). Per Amapá, ci sono stime

RC: 80639

Disponibile in: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/salute/previsione-della-propagazione>

che proiettano un tasso di sottostima del $\sim 11,2\%$, secondo una nota tecnica pubblicata l'11 aprile (BATISTA *et al*, 2020b)

- Il modello vSIR non tiene conto del numero di casi asintomatici. Ad esempio, nell'articolo di revisione di (BUIRAGO-GARCIA, 2020) è stato stimato un limite superiore per la percentuale di infezioni asintomatiche SARS-CoV-2 di $\sim 29\%$ (intervallo di confidenza al 95%: 23-37%). Una strategia per ottenere una stima della frazione di casi asintomatici in Amapá consiste nell'investire nel testare una quota massiccia della popolazione.

CONCLUSIONI

Nel primo approccio, è stata sviluppata una proiezione comparativa lineare del modello ICL per COVID-19 applicato al Brasile per Amapá, le cui conclusioni indicano l'urgenza delle prime misure possibili di isolamento sociale, considerando la necessità di evitare un contagio massiccio e accelerato in la località. Abbiamo anche cercato di osservare le condizioni generali del contesto pandemico. Esiste un'imprecisione per quanto riguarda la velocità effettiva di trasmissione e infezione, sebbene circondata da un certo grado di misurazione, mesi dopo l'inizio di una pandemia dichiarata, implica direttamente l'osservazione dei rispettivi standard locali.

Il secondo approccio è stato mediato dalla soluzione a breve termine delle equazioni del modello SIR. Questa soluzione ha fornito la tipica crescita esponenziale che si è dimostrata in accordo con i dati osservati fino al 14 aprile, consentendo di ottenere una stima preliminare di R_0 compresa tra [1.340, 3.271]. Nei giorni successivi si riscontra una brusca e precoce discrepanza dell'esponenziale *fit* dovuta alle misure di isolamento adottate.

Nel terzo approccio, il modello vSIR è stato applicato ai dati infetti effettivi. È stato verificato che il tasso di riproduzione di base R_0 per Amapá è $\sim 2,11$, a dimostrazione che l'epidemia in questo stato è in piena espansione, questo fatto è ancora più aggravato dall'informazione dell'isolamento sociale che mostra che lo Stato, alla luce

RC: 80639

Disponibile in: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/salute/previsione-della-propagazione>

del primo Il decreto di quarantena ha raggiunto il 56% dei suoi cittadini isolati il 5 aprile, tuttavia, quel numero è sceso al 43% il 12 aprile.

Affinché ci sia una riduzione del livello di controllo dell'epidemia ($R_0 < 1$), è necessario che la velocità di trasmissione β , che ora è a $\sim 0,216$, subisca una riduzione di oltre il 53% per avere R_0 sotto controllo, che è possibile solo con azioni rigorose per controllare la dispersione della popolazione per ridurre i contatti tra gli individui, rallentando così l'interazione tra individui suscettibili e infettivi.

GRAZIE

Gli autori sono particolarmente grati a Milan Batista da University of Ljubljana per i suoi utili contributi nell'uso del codice open source per Matlab e per il supporto di CAPES e CNPQ nello sviluppo di questo lavoro, attraverso la concessione di una borsa di studio di dottorato e sostegno alla ricerca.

RIFERIMENTI

ALIMOHAMADI, Yousef; TAGHDIR, Maryam; SEPANDI, Mojtaba. The estimate of the basic reproduction number for novel coronavirus disease (covid-19): A systematic review and meta-analysis. *Journal of Preventive Medicine and Public Health*, 2020. Disponível em: <<https://www.jpmp.org/upload/pdf/jpmph-20-076.pdf>> Acesso em: 01/05/2020

AMAPÁ. Painel Coronavírus. [internet].2020a. Disponível em: <<http://painel.corona.ap.gov.br/>> Acesso em: 10/05/2020

AMAPÁ. Superintendência de Vigilância em Saúde – SVC. 2020b. Disponível em: <<https://svs.portal.ap.gov.br/coronavirus>> Acesso em: 14/04/2020.

RC: 80639

Disponibile in: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/salute/previsione-della-propagazione>

BATISTA, Milan. fitVirusCOVID19. MATLAB Central File Exchange. [Internet]. 2020. Disponível em: <<https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/74658-fitviruscovid19>> Acesso em 15/05/2020.

BROOKS, Samantha K.; WEBSTER, Rebecca K.; SMITH, Louise E.; WOODLAND, Lisa.; WESSELY, Simon; GREENBERG, Neil. RUBIN, Gideon James. The psychological impact of quarantine and how to reduce it: rapid review of the evidence. *The Lancet*. London, Uk, v. 395, p.912-920, mar. 2020. DOI:[https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30460-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30460-8)

BUITRAGO-GARCIA, Diana C.; EGLI-GANY, Dianne; COUNOTTE, Michel J.; HOSSMANN, Stefanie; IMERI, Hira; SALANTI, Georgia. LOW, Nicola. *The role of asymptomatic SARS-CoV-2 infections: rapid living systematic review and meta-analysis*. medRxiv, 2020. Disponível em: <<https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.04.25.20079103v1>> Acesso em: 10/05/2020

DANDEKAR, R.; BARBASTATHIS, G. *Neural Network aided quarantine control model estimation of COVID spread in Wuhan, China*. 2020. Disponível em: <<https://arxiv.org/abs/2003.09403>> Acesso em: 10/05/2020.

DELAMATER, Paul L.; STREET, Erica J.; LESLIE, Timothy F., YANG, Y. Tony; JACOBSEN, Kathryn H. Complexity of the Basic Reproduction Number (R0). *Emerg Infect Dis* 2019;25:1-4 PMC6302597

FERGUSON, Neil M.; GHANI, Azra C.; WALKER, Patrick G. T.; WHITTAKER, Charles; WATSON, Oliver; BAGUELIN, Marc; AINSLIE, Kylie E. C. et al.. The Global Impact of COVID-19 and Strategies for Mitigation and Suppression. 26 mar 2020. *Imperial College London COVID-19 Response Team*. Disponível em: <<https://www.imperial.ac.uk/media/imperial-college/medicine/mrc-gida/2020-03-26-COVID19-Report-12.pdf>> Acesso em: 14/05/2020.

RC: 80639

Disponibile in: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/salute/previsione-della-propagazione>

HARKO, Tiberiu; LOBO, Francisco S. N.; MAK, M. K. *Exact analytical solutions of the Susceptible-Infected-Recovered (SIR) epidemic model and of the SIR model with equal death and birth rates*. Applied Mathematics and Computation. 236: 184194, 2014. Disponível em: <<https://arxiv.org/abs/1403.2160>> Acesso em: 10/05/2020

HETHCOTE, Herbert W. The mathematics of infectious diseases. *SIAM Review*, v. 42, n. 4, p. 599-653, 2000. Disponível em: <<https://epubs.siam.org/doi/abs/10.1137/s0036144500371907>> Acesso em: 10/05/2020

IBGE. *Cidades e Estados: Amapá*. 2020. [internet]. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ap.html>> Acesso em: 20.04.20

IN LOCO. *Mapa de Dados*. 2020. [internet]. Disponível <<https://mapabrasileirodacovid.inloco.com.br>> Acesso em 03/05/2020.

MRAD, Assaad; BONETTI, Sara; MANOLI, Gabriele; PAROLARI, Anthony J. *Global convergence of COVID-19 basic reproduction number and estimation from early-time SIR dynamics*. MedRxiv. 2020. Disponível em: <<https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.04.10.20060954v2>> Acesso em: 01/05/2020

LI, Ruiyun; PEI, Sen; CHEN, Bin; YIMENG, Canção; ZHANG, Tao; YANG, Wan; SHAMAN, Jeffrey. Substantial undocumented infection facilitates the rapid dissemination of novel coronavirus (SARS-CoV-2). *Science*, v. 368, n. 6490, p. 489-493, 2020. Disponível em: <<https://science.sciencemag.org/content/368/6490/489>> Acesso em: 10/05/2020

LIU, Ying; GAYLE, ALBERT A.; WILDER-SMITH, Annelies; ROCKLÖV Joacim. The reproductive number of COVID-19 is higher compared to SARS coronavirus. *Journal of travel medicine*, 2020. Disponível em:

RC: 80639

Disponibile in: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/salute/previsione-della-propagazione>

<<https://academic.oup.com/jtm/article/27/2/taaa021/5735319>> Acesso em:
10/05/2020

MINISTÉRIO DA SAÚDE. *Sobre a Doença Covid-19*. Brasília. 2020. [internet].
Disponível em <<https://coronavirus.saude.gov.br/sobre-a-doenca>> Acesso em:
14/05/2020

MINISTÉRIO DA SAÚDE. *Síntese de casos, óbitos, incidência e mortalidade*.
Brasília. 2020a. [internet]. Disponível em: <<https://covid.saude.gov.br/>> Acesso em
15/05/2020.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. *Coronavirus disease 2019 (COVID-19)
Situation Report – 46*. Disponível em <https://www.who.int/docs/default-source/coronaviruse/situation-reports/20200306-sitrep-46-covid-19.pdf?sfvrsn=96b04adf_4#:~:text=For%20COVID%2D19%2C,infections%2C%20requiring%20ventilation.>> Acesso em 16/05/2020

PIRES, L.N.; CARVALHO, L.; XAVIER, L.L. COVID-19 e Desigualdade no Brasil.
Centro Brasileiro de Estudos da Saúde. Disponível em <
<http://cebes.org.br/2020/04/covid-19-e-desigualdade-no-brasil/>>. Acesso em
16/05/2020.

PRADO, Marcelo; BASTOS, Leonardo; BATISTA, Amanda; ANTUNES, Bianca;
BAIÃO, Fernanda, MAÇAIRA, Paula; HAMACHER, Silvio; BOZZA, Fernando. *Nota
Técnica 7 NOIS/Puc-Rio: Análise de subnotificação do número de casos
confirmados da COVID-19 no Brasil*.
<[http://www.supersuporte.com/myRpubs/NT7_Subnotificacao_notaDia11-abr-
2020.pdf](http://www.supersuporte.com/myRpubs/NT7_Subnotificacao_notaDia11-abr-2020.pdf)>, Acessado em: 14.05.2020.

PRADO, Marcelo; BASTOS, Leonardo; BATISTA, Amanda; ANTUNES, Bianca;
BAIÃO, Fernanda, MAÇAIRA, Paula; HAMACHER, Silvio; BOZZA, Fernando. *Nota
Técnica 7 NOIS/Puc-Rio: Evolução da epidemia de COVID-19 no Brasil até 04 de*

RC: 80639

Disponibile in: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/salute/previsione-della-propagazione>

maio de 2020.

<<https://drive.google.com/file/d/17a9F6WEmCoihJmXF3KMHEI1jWo51xarz/view>> ,

Acesso em: 14/05/2020

READ, Jonathan M.; BRIDGEN, Jessica R. E.; CUMMINGS, Derek A. T. HO, Antonia; JEWELL, Chris P. *Novel coronavirus 2019-nCoV: early estimation of epidemiological parameters and epidemic predictions*. MedRxiv, 2020. Disponível em: <<https://www.medrxiv.org/CONTENT/10.1101/2020.01.23.20018549V2>> Acesso em 10/05/2020

TODA, Alexis Akira. *Susceptible-infected-recovered (sir) dynamics of covid-19 and economic impact*. ArXiv:2003.11221, 2020. Disponível em: <<https://arxiv.org/abs/2003.11221>> Acesso em: 09/05/2020

ZHANG, Yuan; YOU, Chong; CAI, Zhenghao; SUN, Jiarui; HU, Wenjie; ZHOU, Xiao-Hua. *Prediction of the COVID-19 outbreak based on a realistic stochastic model*. medRxiv, 2020. Disponível em: <<https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.03.10.20033803v1>> Acesso em: 09/05/2020

ZHONG, Linhao; MU, Lin; LI, Jing; WANG, Jiaying; YIN, ZHE; LIU, Darong. *Early prediction of the 2019 novel coronavirus outbreak in the mainland china based on simple mathematical model*. Ieee Access, v. 8, p. 51761-51769, 2020. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/9028194>> Acesso em: 09/05/2020

ZORZETTO, R. *A segunda onda do coronavírus*. PESQUISA FAPESP, 2020. Disponível em <<https://revistapesquisa.fapesp.br/2020/03/30/a-segunda-onda-do-coronavirus/>> Acesso em: 09/05/2020

APPENDICE - RIFERIMENTO A PIEDI

11. <http://www2.unifap.br/matematicaplicada/pagina-exemplo/>

RC: 80639

Disponibile in: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/salute/previsione-della-propagazione>

MULTIDISCIPLINARY SCIENTIFIC JOURNAL

**NÚCLEO DO
CONHECIMENTO**

REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR NÚCLEO DO CONHECIMENTO:

2448-0959 [HTTPS://WWW.NUCLEODOCONHECIMENTO.COM.BR](https://www.nucleodoconhecimento.com.br)

Inserito: Maggio, 2020.

Approvato: Maggio, 2020.

RC: 80639

Disponibile in: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/salute/previsione-della-propagazione>