

## ARTICLE ORIGINAL

DIAS, Neylan Leal <sup>[1]</sup>, SILVA, Edcarlos Vasconcelos da <sup>[2]</sup>, PIRES, Marcelo Amanajas <sup>[3]</sup>, CHAVES, Daniel <sup>[4]</sup>, SANADA, Katsumi Letra <sup>[5]</sup>, FECURY, Amanda Alves <sup>[6]</sup>, DIAS, Cláudio Alberto Gellis de Mattos <sup>[7]</sup>, OLIVEIRA, Euzébio de <sup>[8]</sup>, DENDASCK, Carla Viana <sup>[9]</sup>, LEAL, Simone Delphim <sup>[10]</sup>

DIAS, Neylan Leal. Et al. Prédiction de la propagation du SRAS-CoV-2 dans l'État d'Amapá, Amazônia, Brésil, par modélisation mathématique. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Année 05, Ed. 05, vol. 06, pp. 73-95. Mai 2020. ISSN: 2448-0959, Lien d'accès: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/sante/prediction-de-la-propagation>, DOI: 10.32749/nucleodoconhecimento.com.br/sante/prediction-de-la-propagation

## Contents

- ABSTRAIT
- INTRODUCTION
- COVID-19 À AMAPÁ ET DANS LA RÉGION MÉTROPOLITAINE DE L'ÉTAT
- OBJECTIF
- MÉTHODOLOGIE
- RÉSULTATS ET DISCUSSIONS
- ANALYSE DE PROJET DU MODÈLE IMPÉRIAL DU COLLEGE LONDON
- MODÉLISATION VSIR POUR L'ÉVALUATION DE LA COURBE DES CAS ACCUMULÉS DE COVID-19 À AMAPÁ
- LIMITES DE L'ÉTUDE
- CONCLUSIONS
- MERCI
- LES RÉFÉRENCES
- ANNEXE – RÉFÉRENCE DES NOTES DE BAS DE PAGE

## ABSTRAIT

Cet article présente une analyse de la propagation du SRAS-CoV-2 à Amapá en utilisant trois approches. Dans le premier, le modèle ICL de la pandémie appliqué au Brésil a été utilisé pour mettre en œuvre une projection linéaire comparative pour la population Amapá. La

deuxième approche a été développée avec la solution à court terme du modèle SIR standard, où il a été montré que le comportement exponentiel typique décrit de manière satisfaisante les données pour les premières semaines de l'épidémie, mais peu de temps après, il y a des écarts précoces dus à une soudaine décélération de l'évolution temporelle nombre de cas dû aux mesures d'isolement. Ce nouveau régime est décrit de manière appropriée avec la troisième approche qui est basée sur le modèle vSIR qui est une variante du modèle SIR. Les résultats présentés permettent, d'une part, de mieux comprendre les scénarios déjà rencontrés par la population et, d'autre part, de fournir des projections à court terme qui seront constamment mises à jour sur le lien [11].

Mots clés: COVID-19, pandémie, modèle mathématique, vSIR, SARS-CoV-2.

## INTRODUCTION

Le coronavirus est une famille de virus qui provoquent des infections respiratoires qui, bien qu'enregistrées depuis 1937, seulement le 31 décembre 2019, après des cas enregistrés en Chine, le nouveau coronavirus a été découvert et identifié comme la cause de la maladie appelée COVID-19 qui est causée par le coronavirus SRAS-CoV-2 (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2020b)

Selon l'Organisation mondiale de la santé (OMS), environ 80% des cas peuvent être asymptomatiques et les 20% restants nécessitent souvent des soins hospitaliers et une petite partie – environ 5% – de ceux-ci vont aux unités de soins intensifs en raison d'une déficience respiratoire sévère. (OMS, 2020).

Ce fait se reflète dans la condition de transmission communautaire installée au niveau national au Brésil, où même compte tenu des faibles tests du pays et de la revue constante des décès par COVID-19, le taux de létalité moyen est d'environ 6% et la projection des cas arrive. le mois de mai, probablement, dans les six chiffres, s'est répandu principalement dans la région du sud-est. En ce sens, la situation dans la région du Nord a un impact considérable; à la fin du mois d'avril, il y avait environ 12% des cas nationaux en chiffres absolus, ce qui devient encore plus dramatique compte tenu de la proportionnalité démographique entre les cinq macrorégions nationales (BATISTA *et al*, 2020b).

À la mi-mai, l'incidence et la mortalité pour 100 000 habitants dans le Nord (245,7) étaient le double des taux des régions les plus avancées de ce même tableau, comme le montre le tableau 1 (OMS, 2020a).

Tableau 1. Résumé des cas, des décès, de l'incidence et de la mortalité du covid-19 Brésil et régions.

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

Source: Ministère de la santé (2020).

Dans le cas d'Amapá, comme on peut le voir dans le tableau 2, dans la même période, les chiffres présentés ont suivi la tendance à la hausse, avec une moyenne similaire à la moyenne régionale sur la mortalité (14,1 du PA x 16,2 au nord), mais avec des chiffres en ce qui concerne l'incidence des cas (467,3 de l'AP x 245,7 au Nord). Il est donc urgent de porter une attention particulière à la contradiction visible entre les schémas d'incidence et de mortalité dans la région à la lumière de la réalité nationale, étant donné que, compte tenu de la densité démographique de la région Nord et du nombre de cas par habitant, 5 villes du Nord figuraient parmi les 20 villes ayant le taux de mortalité le plus élevé à la fin du mois d'avril (BATISTA et al, 2020b).

Tableau 2. Synthèse des cas, des décès, de l'incidence et de la mortalité du covid-19, dans la région et les États du Nord

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

Source: Ministère de la santé (2020).

Compte tenu de la configuration des systèmes de santé publique nationaux et régionaux, il existe plusieurs facteurs qui, à leur tour, sont généralement liés aux pays en développement – comme le Brésil – tels que le faible nombre de lits avec respirateurs ou une capacité de traitement intensive, le retard technologique influençant la qualité des tests, absence d'équipement de protection individuelle (EPI), carences dans les systèmes sanitaires des villes, saturation du nombre de personnes par dortoir dans les habitations des régions à très forte densité démographique et inexpérience brésilienne des situations de confinement et / ou de restriction de la circulation – font les projections épidémiologiques et infectieuses sur le COVID-19 encore plus incertaines. De telles incertitudes doivent respecter, mais avec la plus

grande prudence, une modélisation macroscopique visant la projection 01 la plus proche possible (PIRES; CARVALHO; XAVIER, 2020).

#### COVID-19 À AMAPÁ ET DANS LA RÉGION MÉTROPOLITAINE DE L'ÉTAT

Avec l'arrivée du Coronavirus à Amapá le 25 mars 2020, dont la région métropolitaine comprend une population selon l'IBGE d'environ 845000 habitants, répartie sur 16 communes avec un taux de croissance démographique de 2,02% (IBGE, 2020).

Il est important d'avoir une image aussi précise que possible, en ce sens, l'observation des modèles de comportement de circulation des personnes, d'hygiène et de soins avec la santé hospitalière peut influencer la propagation du COVID-19 à Amapá, en tenant également compte des modèles de comportement des valeurs absolues Des cas notifiés (SVS, 2020).

Tangencées par une propagation effrénée du nouveau coronavirus à Amapá, pensons aux familles aliénées du marché du travail et isolées socialement, empêchées d'exercer leur profession. Dans ces conditions, la seule solution est d'attendre que la maladie passe, provoquant d'autres problèmes tels que l'anxiété, la dépression, le stress post-traumatique, l'irritabilité, entre autres impacts psychologiques de la quarantaine. Pour leur réponse aux impacts négatifs, les gens ont également souffert de faits prédictifs tels que: peur, tristesse, culpabilité, confusion, pour ne pas être en mesure de trouver une solution de travail ou de loisir par eux-mêmes. Une partie de ces contextes psychologiques évoqués est perceptible dans toutes les classes et niveaux sociaux de l'État d'Amapá, à commencer principalement par les professionnels de santé qui travaillent et sont toujours à la pointe des centres de soins inadéquats et insuffisants depuis des années vécues derrière un système politique alarmant. des inégalités démocratiques (BROOKS, 2020).

Dans le catalogage existant aux différents niveaux des groupes sociaux urbains et périphériques de l'État d'Amapá, une ville comme Macapá et Santana sont les deux municipalités où la maladie est la plus concentrée. Selon la Surintendance de la surveillance de la santé SVS, cette déclaration de recherche était basée sur la période du 14 au 27 avril, montrant toujours les caractéristiques de concentration du COVID-19 dans le centre-ville de Macapá, où tout a commencé, cela est dû à des personnes qui voyagé à l'étranger de l'état

et est revenu. On en conclut qu'alors l'effet de l'expansion de la contamination est donné par les personnes importées que nous appellerons les classes A et B (critère de classification socio-économique). Partiellement opposé aux confirmations de l'épicentre sous pression du COVID-19 au centre de Macapá, il y a Santana qui ratifie ses statistiques de concentration dans toutes les zones urbaines et périphériques possibles de déplacement interurbain nécessaire pour des raisons familiales, résidentielles ou non (contact direct) , même avec les mesures de confinement appliquées par des barrières sanitaires. Ce panorama sera présenté par le groupe de personnes de classe C, D, E, encadré dans la dépendance à l'usage des transports collectifs et privés (SVS, 2020).

Dans cette idée commentée ci-dessus, nous avons intégré un modèle de cadre pour les relations de classes ou de groupes sociaux d'isolement, mesurées par le revenu et le bien-être des Amapá (IN LOCO, 2020).

Tableau 3. Relation comparée de l'isolement social par groupe socio-économique.

## Prédiction de la propagation du SRAS-CoV-2 dans l'État d'Amapá, Amazônia, Brésil, par modélisation mathématique

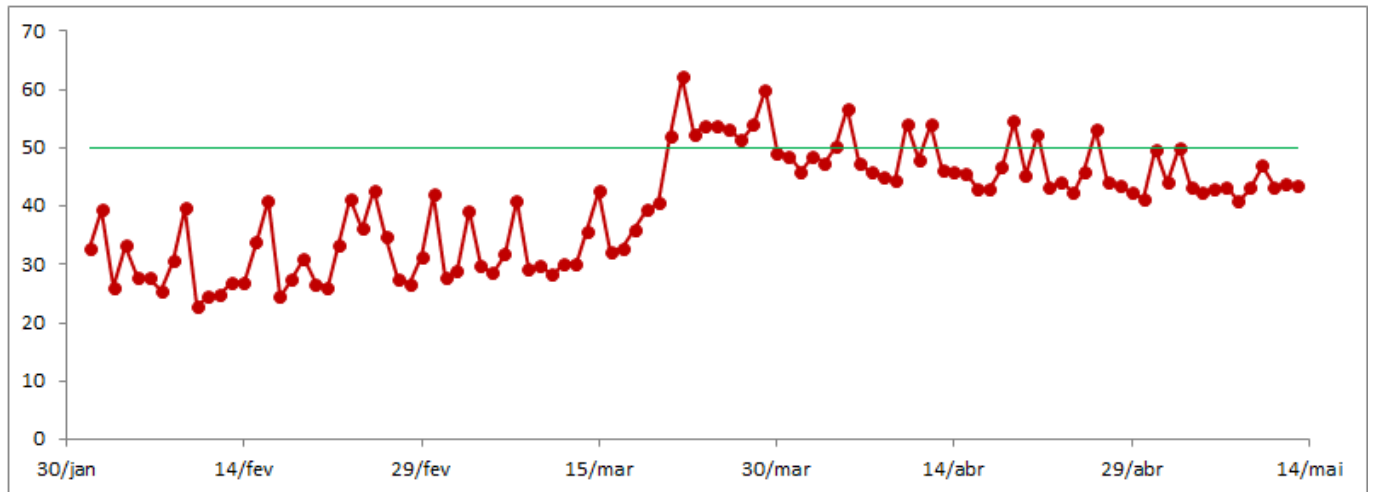
Grupos Sociais por Classe	Isolamento Social	Bem Estar Social	Cidade
<b>A e B</b>	40% em casa respeitando o decreto	Variante conforme o comportamento da equidade do início da pandemia	Macapá
<b>C, D e E</b>	60% não respeitando o decreto de isolamento social	Invariante conforme até um ponto convergente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

Le scénario de table n'est qu'une petite démonstration de la réalité comportementale sociale de la population Amapá, en ce qui concerne la valeur de sa responsabilité de maintenir son bien-être à partir du décret établi par les agences gouvernementales de l'État. Chérie chez nous par l'actualité sérialisée par la pandémie, l'image montre 40% des classes A et B disposées à s'isoler, une partie de cet épanouissement est due au fait que ces personnes ont des entreprises, des emplois et des salaires fixes de fonctionnaires en carrière. Contrairement aux autres classes sociales restantes C, D et E, il existe un critère de la norme salariale combinée entre les parts contributives du revenu fixe familial (dépendance financière) et les emplois temporaires formels et informels pour le bien-être attendu, indépendamment de s'il est ou non un fonctionnaire de carrière ou une formation universitaire. C'est la raison de la rupture croissante de l'isolement social, qui atteint 60% avec une tendance à croître encore plus au cours des mois en cours (IBGE-AMAPÁ, 2020).

Suite à la validation des faits en question par chaque classe sociale intervenant pour des raisons pluralistes, la figure 1 est esquissée dans une déclaration générale montrant l'indice d'irresponsabilité de la population vis-à-vis de l'isolement social dans l'État d'Amapá Cidade de Macapá Capital et dans d'autres municipalités au cours de la période de janvier. 30 au 14

mai 2020 avec une tendance à varier, se scinder ou régresser (IN LOCO, 2020).

Figure 1. Indice d'isolement social pour Amapá du 30 janvier au 14 mai



Source: In Loco (2020)

Les analyses statistiques de l'isolement social, sont encore des variantes incertaines de ce qui a été convenu dans la pratique par la population Amapá, la variation est toujours attendue de la période du graphique jusqu'au 14 mai 2020, considérée comme l'accomplissement de rester à la maison et de ne partir que si nécessaire ou d'urgence. Les actions de barrières d'inspection sanitaire seront la base pour contrôler le flux intense de personnes autour de la ville. Et même s'il y a suffisamment de cas symptomatiques suspects du virus ainsi informés, le résultat incontrôlable attendu est toujours surveillé. (SVS, 2020)

## OBJECTIF

Cette recherche vise à analyser l'incidence des cas confirmés de COVID-19 à Amapá / AP à l'aide de méthodes statistiques et de modèles mathématiques afin de comprendre la dynamique de contagion du virus, en fournissant des informations pour promouvoir une stratégie de combat plus efficace contre le covid-19.

Entre autres spécifications de conduite, il vise à vérifier le comportement forcé de restriction sociale dans l'environnement public et domestique, donné comme l'une des conditions de



soins prioritaires pour la prolifération réduction de la contagion par le Coronavirus.

## MÉTHODOLOGIE

En général, deux approches de modélisation ont été employées pour obtenir *insights* sur l'évolution épidémique liée au Sars-CoV-2. D'une part, il y a un effort pour développer des modèles sophistiqués qui prennent en compte plusieurs variables qui peuvent décrire la dynamique épidémique. Une telle approche a été utilisée, par exemple, dans Zhang (2020) avec un système de 15 équations différentielles. D'autre part, une vision mathématique a également été adoptée en se concentrant sur les principales caractéristiques épidémiques du processus contagieux de succès de la courbe épidémique de coronavirus à travers des versions primaires ou étendues des modèles SIR (TODA, 2020; KATUL, 2020; ZHONG, 2020;).

Le modèle épidémiologique SIR proposé par Kermack et McKendrick en 1927 (HETHCOTE, 2000) est l'un des modèles classiques utilisés pour décrire l'évolution du processus de contagion des maladies infectieuses. Ce modèle composé d'équations différentielles utilise la stratégie des compartiments et divise, par rapport à la maladie, la population en individus qui peuvent contracter, en individus capables de transmettre et en individus qui se sont rétablis et ne sont pas soumis à une nouvelle contamination dite susceptibles (*S*), infecté (*I*) et récupéré (*R*) respectivement.

Mathématiquement, un modèle SIR peut être représenté à l'aide des équations différentielles suivantes:

$$\frac{dS}{dt} = -\frac{\beta IS}{N},$$

$$\frac{dI}{dt} = \frac{\beta IS}{N} - \gamma I,$$

$$\frac{dR}{dt} = \gamma I,$$

Où  $\beta$  est le taux de transmission de la maladie,  $\gamma$  est le taux de guérison des individus, les deux sont des paramètres positifs et caractéristiques des données analysées.

Afin d'optimiser et d'estimer ces paramètres afin que les cas rapportés et simulés soient approximativement égaux, des valeurs initiales sont utilisées pour les variables à trois états  $S(0)$ ,  $I(0)$  e  $R(0)$ .

La valeur initiale  $S(0)$  est la population de la communauté touchée par l'épidémie, tandis que  $I(0)$  est le nombre de cas confirmés qui peuvent avoir n'importe quelle valeur, mais pas zéro. Nous pouvons mettre  $I(0)$  à zéro si les heures de début de propagation et de simulation sont les mêmes. Le taux de transmission diminue de manière monotone au fil du temps (HARKO, 2014).

En résolvant le système (1), nous déterminons la fonction de solution pour la population sensible et nous obtenons (BATISTA, 2020).

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

Parmi les paramètres pertinents utilisés dans les modèles épidémiologiques tels que le SIR, il y a la reproductibilité de base fournie par  $R_0$  (appelé taux de reproduction) défini par  $R_0 = \beta/\gamma$ . Le taux  $R_0$  est affecté, parmi plusieurs facteurs, par le nombre de personnes sensibles dans la population avec laquelle les patients affectés sont en contact et peut être décrit comme le nombre moyen de personnes infectées par un seul individu (DELAMATER et al, 2019 ).

Selon Ghani et Ferguson (2020), la valeur  $R_0$  du COVID-19 a varié entre 1 et 7 (plus précisément 1,1 à 6,95) tout au long du développement de l'épidémie. Comme indiqué par Delamater et al (2019), un  $R_0 < 1$  montre que le nombre d'individus infectés diminue avec le temps et que l'épidémie tend à s'éradiquer, pour des valeurs de  $R_0 > 1$  on suppose que l'épidémie doit persister dans la population à long terme.

Ainsi, en prenant la limite lorsque tend vers l'infini, le nombre de personnes sensibles obtenu est:

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

Où est le montant final de récupéré. Considérant que le nombre final de personnes infectées est de zéro, nous avons:

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

De (03) nous obtenons

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

En supposant que les données disponibles sont une série chronologique du nombre total de cas  $C = R + I$ , les paramètres et les valeurs initiales sont définis en minimisant la différence entre les valeurs actuelles et les nombres de cas calculés:

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

où  $C_t = (C_1, C_2, \dots, C_n)$  est le nombre d'observations au temps  $t = 1, 2, \dots, n$  et le vecteur correspond aux valeurs estimées aux mêmes moments que le rapport valeurs. La minimisation en question a été obtenue par la fonction *fminsearch* de MATLAB selon Batista (2020).

Nous soulignons que dans l'approche susmentionnée, il y a trois paramètres à estimer, à savoir  $\{\beta, \gamma, N\}$  où  $N$  est la taille effective de la population. Nous désignons cette variante par l'acronyme vSIR pour la différencier du modèle SIR standard où  $N$  est la taille totale de la population qui est une grandeur définie a priori. Sur le plan informatique, la solution numérique du système d'équations vSIR est implémentée avec le logiciel MATLAB en utilisant la méthode explicite de Runge-Kutta du quatrième ordre (BATISTA, 2020).

Toutes les analyses avec le modèle mathématique de cette étude ont été réalisées avec des données de cas confirmés de covid-19 pour l'État d'Amapá, mises à disposition par le Département de la santé de l'État et le ministère de la Santé du Brésil, tous deux en ligne, dans le cas des données secondaires, pour cette raison, il n'était pas nécessaire d'enregistrer la recherche dans un comité d'éthique.

## RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

### ANALYSE DE PROJET DU MODÈLE IMPÉRIAL DU COLLEGE LONDON

Nous présentons dans ce thème quelques projections locales réalisées avec le modèle de *l'Imperial College of London* (ICL), qui cherchait à orienter les politiques publiques d'urgence dans le contrôle épidémiologique-infectieux du COVID-19 pour les pays touchés, évidemment tous les modèles doivent être attentifs dans un instant immédiat à l'expansion transocéanique de la pandémie, compte tenu des facteurs aggravants qui se produisent dans chaque région.

Ainsi, le «modèle ICL» décrit les cinq scénarios comme suit:

A) Une épidémie non atténuée - un scénario dans lequel aucune action n'est entreprise.

B) Atténuation, y compris la distance sociale au niveau de la population - nous évaluons la réduction maximale de l'échelle finale de l'épidémie qui peut être obtenue grâce à une réduction uniforme du taux de communication des individus, à l'exception d'une suppression complète.

C) Atténuation, y compris une plus grande distance sociale par rapport aux personnes âgées – comme (B), mais avec des personnes âgées de 70 ans ou plus, réduisant leurs taux de contact social de 60%.

D et E) Suppression – nous explorons différents déclencheurs épidémiologiques (décès pour 100.000 habitants) pour la mise en œuvre d'un détachement social intensif à grande échelle (modélisé comme une réduction de 75% des taux de contacts interpersonnels) dans le but de supprimer rapidement la transmission et de minimiser les courts-circuits. cas à terme et décès.

Pour ces scénarios, nous ne produisons pas d'estimations finales de taille, mais nous illustrons leur impact sur des configurations représentatives. Pour Tardia, il est envisagé de réaliser des tests de masse, d'isoler les cas positifs et de surveiller les personnes proches de celles diagnostiquées à partir de 1,6 décès pour 100 000 habitants par semaine. Pour Precoc, les mêmes mesures que précédemment, mais adoptées à partir de 0,2 décès pour 100 mille habitants par semaine (GHANI; FERGUSON, 2020).

Les scénarios exposés par ICL pour une population brésilienne de plus de 200 millions de personnes à l'heure actuelle, sont extrapolés (en raison du principe fondamental de minimisation des impacts pour la population) sont les suivants: Scénario A – Pas de mesures d'atténuation; Scénario B – Avec distance sociale de l'ensemble de la population. Dans le scénario A, la situation brésilienne est imprudente, et selon le scénario, avec des pourcentages de personnes infectées allant de 88% et diminuant jusqu'à 5% de la population, au nombre de décès allant de 1% à 0,02%. Il existe également un troisième scénario – C – qui travaille avec la distance sociale et renforce la distance entre les personnes âgées. Enfin, les scénarios D et E, correspondant respectivement à une suppression tardive et précoce, sont considérés, faisant partie des scénarios catastrophiques, ceux de moindre destruction quantitative, comme on peut le voir ci-dessous.

Nous avons construit, par souci d'appréciation, la projection nationale suivante, selon le modèle ICL.

Tableau 4 Projections pour le Brésil selon le modèle ICL

## Prédiction de la propagation du SRAS-CoV-2 dans l'État d'Amapá, Amazonia, Brésil, par modélisation mathématique

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

Source: Produit par les auteurs avec des données de recherche.

Fin mars, le scénario actuel indiquait une accélération du nombre de cas détectés, environ une semaine après les tensions autour de l'isolement, comme le montre la projection suivante. Les données du ministère de la Santé, regroupant les secrétariats d'État à la santé, font état de 5.812 personnes infectées et 202 décès au 36e jour après le premier cas confirmé. Il a fallu 22 jours jusqu'au 500e cas, puis à 1000 °, il n'a fallu que 2 jours, doublant en trois jours (2000) et doublant 2 000 en 5 jours. Au cours des 15 derniers jours de mars, il y a donc eu une forte accélération (PRADO, M. et al., 2020).

Il est déjà reconnu que le Brésil connaît un scénario de sous-déclaration depuis le début de la pandémie, avec un taux de notification estimé à Amapá d'environ 11,2%, comme indiqué dans une étude de la première quinzaine d'avril (PRADO et al., 2020 ). Ce facteur peut être observé en raison des problèmes de planification pour le " déclenchement " de la crise - malgré le fait qu'il a été prédit depuis la dernière semaine de janvier, lorsque la prolifération a commencé à vaincre le continent asiatique - et le faible nombre de tests. , à leur tour, ils sont principalement appliqués aux individus symptomatiques, sans tenir compte de l'énorme potentiel des contaminants asymptomatiques; c'est-à-dire qu'ils ont déjà été infectés par le virus, mais ne présentent aucun symptôme, se sentent à l'aise pour le trafic gratuit et

améliorent la transmission. Des facteurs tels que les tensions depuis fin mars autour d'une partie importante de la population qui conteste le confinement ou en minimisant les effets doivent également être pesés, faisant du caractère élastique et informel des promotions de libre circulation un fardeau. Précédent (PRADO *et al.*, 2020 ).

Dans le cas d'Amapá, en mars, la possible escalade a été observée, bien que maintenue dans cette progression actuelle, pour les cas indigènes – déjà en transmission communautaire (AMAPÁ, 2020a) – en raison des revers avec l'autorisation des tests locaux (autorisé seulement en 27 mars – et avec la réduction du temps de progression depuis le 26 mars. Concernant le mois de mars, entre le 19 mars et le 24 mars, nous avons enregistré 1 cas pendant 5 jours, entre le 25 mars et le 26 mars, nous sommes passés au 2ème cas; entre le 27 mars et le 28 mars, nous sommes passés au 3ème, au jour 29 mars, 6 cas, 30 mars, 8 cas et 31 mars, 10 cas. En avril, le taux de cas observé augmentait à risque de manque de contrôle environnemental (AMAPÁ, 2020a)

Considérant également que les dernières projections de l'IBGE concernent une population de 845.000 personnes estimée pour Amapá (IBGE, 2020), si la modélisation ICL pour l'État est projetée, de manière linéaire par rapport au scénario national – qui en lui-même représente déjà un facteur de distorsion – nous aurions le scénario de prédiction suivant, sévèrement extrapolé pour être accumulé sur tout le premier cycle épidémiologique de propagation du COVID-19 ci-dessous:

Tableau 5. Projection linéaire comparative du modèle ICL p. COVID-19 appliqué au Brésil pour Amapá

## Prédiction de la propagation du SRAS-CoV-2 dans l'État d'Amapá, Amazônia, Brésil, par modélisation mathématique

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

Source: Produit par les auteurs avec des données de recherche.

En raison du décret du gouvernement de l'État d'Amapá (GEA) n ° 1414/2020, qui a encouragé une large réduction des activités économiques, sociales et culturelles, et l'adoption à grande échelle d'actions en faveur de la déconcentration des personnes, scénario A est immédiatement jeté dans l'extrapolation tant que l'isolation est maintenue. La préoccupation fondamentale devient, de manière convaincante, le maintien de l'isolement avec des mesures de confinement intelligent des flux pour éviter l'indiscipline sociale par rapport à cela, pour atténuer au maximum les schémas des scénarios B et C pour se rapprocher du scénario réaliste D, de suppression tardive – ce qui ferait, en chiffres absolus, la crise navigable à Amapá, compte tenu de sa densité démographique et de son contingent démographique. La raison de l'optimisme est en faveur des actions rapides des mairies métropolitaines et principalement du gouvernement de l'Etat; cependant, les conditions techniques de notification, ainsi que le quantitatif et qualitatif des installations et des lits d'hospitalisation ou de traitement intensif, suggèrent une urgence lorsqu'une prolifération de cas est finalement confirmée. Pour cette raison, contenir la transmission communautaire s'est avéré la meilleure option. Les prévisions présentées dans une projection par une équipe conjointe de la Fondation Getúlio Vargas et de la Fondation Oswaldo Cruz (FGV / Fiocruz)



pointent de manière convergente vers les effets positifs des restrictions sociales et de transfert combinées par rapport à la prochaine vague nationale accumulée tout au long de la première épidémiologie. cycle de propagation du COVID-19 (ZORZETTO, 2020).

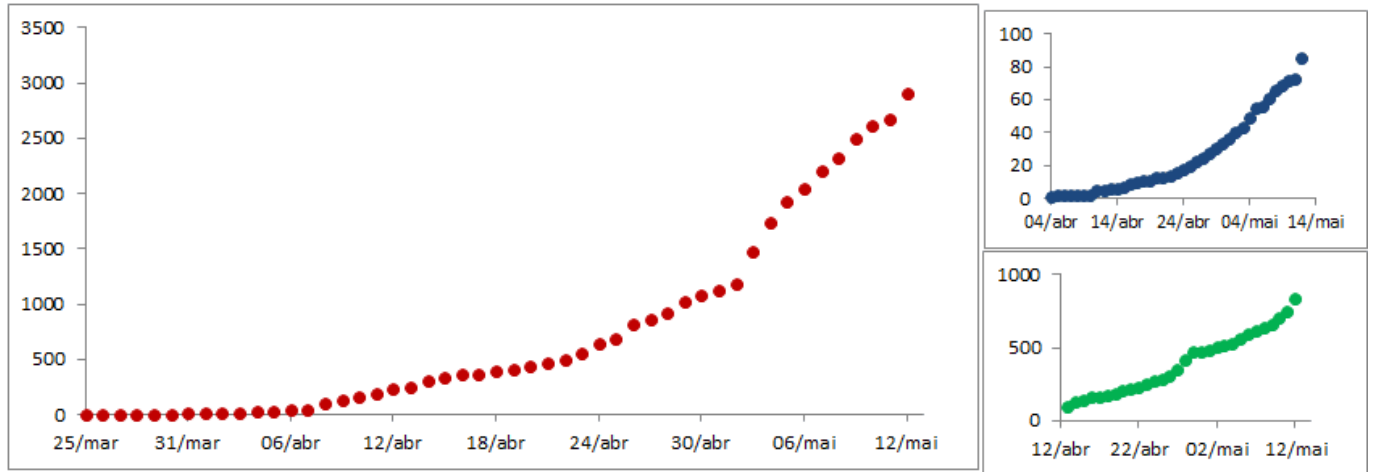
Il est important de réitérer l'inquiétude suscitée par les adaptations évidentes de la modélisation ICL aux caractéristiques socioculturelles et socio-économiques de notre pays. Dans le même temps, les données des scénarios de modélisation ICL sont des nombres extrapolés et peuvent, en ce sens, constituer une exagération. En ce sens, de manière préventive, vérifier la propension pour les prochains jours à la multiplication des cas nationaux et l'implantation encore actuelle du système de dépistage local et l'arrivée imminente d'examens de dépistage rapide – qui risquent d'être insuffisants et se concentrer sur la population symptomatique qui retarde l'amélioration de toute projection en raison de la période d'incubation immédiate à la contagion et, par conséquent, brouille la perception réelle du tableau épidémiologique – il est considéré comme probable que le passage du scénario D à C soit possible. Si cette transition se confirme, les perspectives de titrisation de la ville à travers le zonage du trafic des personnes et des biens seront inévitables (modèle de confinement de Wuhan renforcé par la restriction au trafic intrazonal) pour atteindre la restriction souhaitable de 60% -75%, notant que la cartographie des cas par région serait positivement décisive pour aider à contenir la transmission communautaire avec plus de précision et observer à la fois les personnes contaminées et les personnes âgées. L'avancée et la massification des tests, la distance sociale, la priorisation de la localisation des patients âgés et comorbides, ainsi que l'isolement des personnes diagnostiquées, sont déterminantes à cet égard (ZORZETTO, 2020).

#### MODÉLISATION VSIR POUR L'ÉVALUATION DE LA COURBE DES CAS ACCUMULÉS DE COVID-19 À AMAPÁ

La série chronologique des cas confirmés de covid-19 pour l'État d'Amapá appartient à la section du 25 mars au 12 mai. Au cours de cette période, l'État référé a présenté l'évolution suivante des individus testés positifs, de la mortalité et guéris:

Figure 2. Cas confirmés de covid-19 (A). Évolution de la mortalité (B). Cas récupérés (C).

## Prédiction de la propagation du SRAS-CoV-2 dans l'État d'Amapá, Amazônia, Brésil, par modélisation mathématique



Comme le montre la figure 2, en (A), Amapá a mis 50 jours pour laisser 1 cas pour 2.910 (du 25/03 au 12/05). À la date de clôture de l'étude, l'État avait l'un des taux relatifs de cas les plus élevés avec environ 355,3 pour 100 000 habitants, attirant l'attention de l'ensemble du pays car il s'agit d'un État de moins d'un million d'habitants.

Sur la base de ce scénario, au début de l'évolution temporelle épidémique pour Amapá, on peut supposer  $S \cong N$ . Ainsi, l'équation pour  $dI/dt$  dans le système (1) devient:

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

Où  $R_0 = \beta/\gamma$  .. Après une intégration directe on obtient

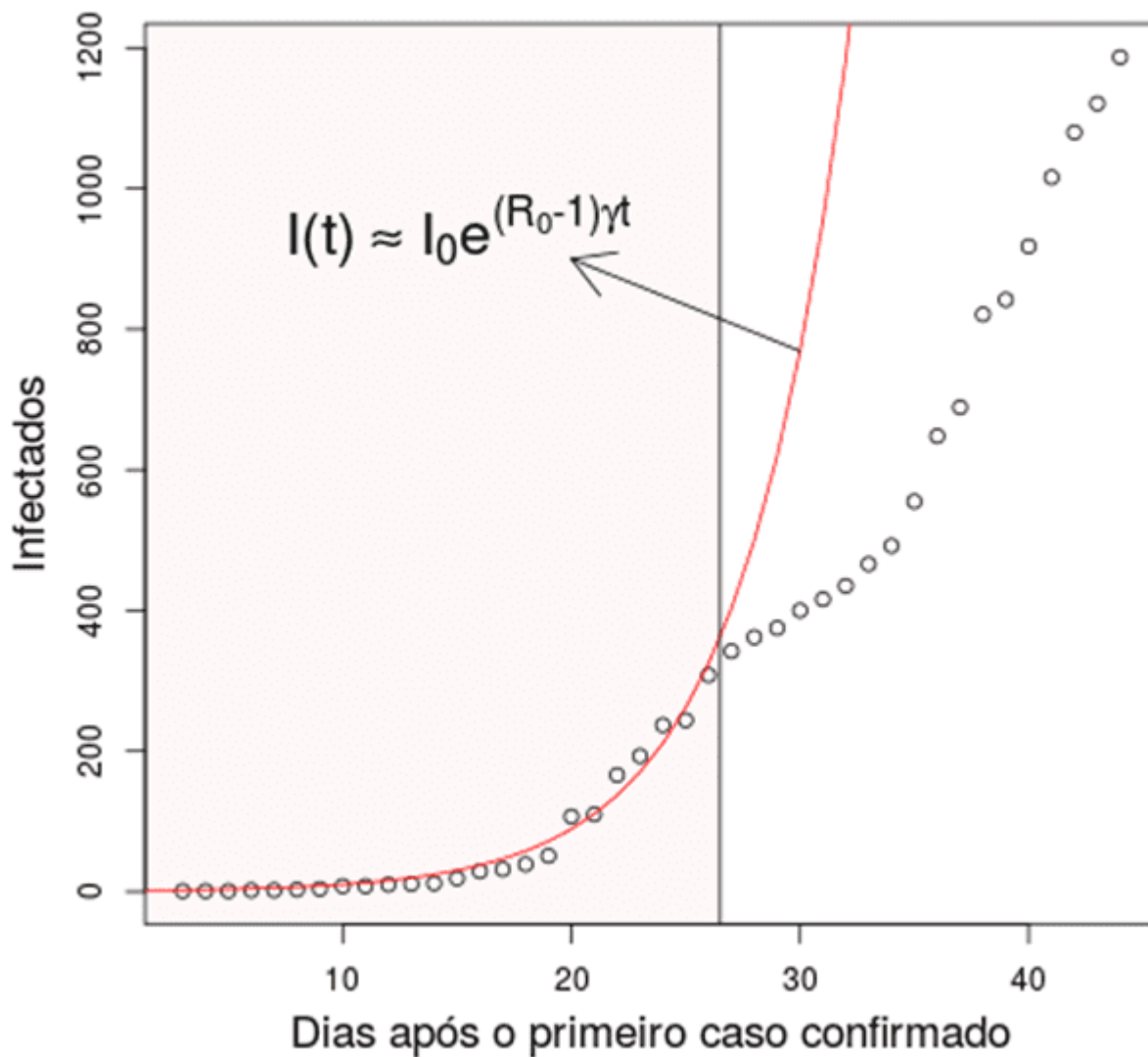
$$I(t) \cong I_0 e^{(R_0 - 1)\gamma t} \quad 08$$

Pour obtenir une première estimation de  $R_0$ , nous appliquons une linéarisation de l'équation ci-dessus. De cette façon, nous obtenons  $\log(I(t)) = mt + \log(I_0)$ , où nous avons la pente  $m = \gamma(R_0 - 1)$  fit avec les outils statistiques du langage de programmation R fournit  $m = 0.21547 \pm 0.01163$ . Sur la base de la littérature (TODA, 2020; LI, 2020; READ, 2020), nous supposons

$\gamma$  dans l'intervalle  $[0.1, 0.6]$ . Avec cela, nous avons une estimation préliminaire de  $R_0$  entre  $[1.340, 3.271]$  qui est une fourchette comparable avec les valeurs rapportées dans les tableaux récapitulatifs des articles de revue sur  $R_0$  (LIU, 2020; ALIMOHAMADI, 2020).

En ce qui concerne la phase de croissance exponentielle des cas de covid-19, la figure 3 montre une concordance satisfaisante entre les données observées et la prévision théorique (courbe rouge) jusqu'au 14 avril. Cependant, immédiatement après, il y a une discordance précoce de *fit* préliminaire avec les données, ce qui soulève des questions sur la raison d'un tel comportement. Une justification possible de ce changement de tendance provient de la perception que la période coïncide avec le début des politiques publiques pour éviter la contagion. Parmi eux, le décret N° 1497 du 3 avril 2020 du gouvernement de l'État d'Amapá, qui détermine immédiatement l'isolement social et la suspension des services considérés comme une agglomération physique, entraînant de nouvelles heures de fonctionnement et ne conservant que les établissements d'extrême nécessité. ouvert. Ainsi, on constate que les mesures d'isolement ont un impact sur le nombre de cas, après le délai de seize jours lié à la période d'incubation.

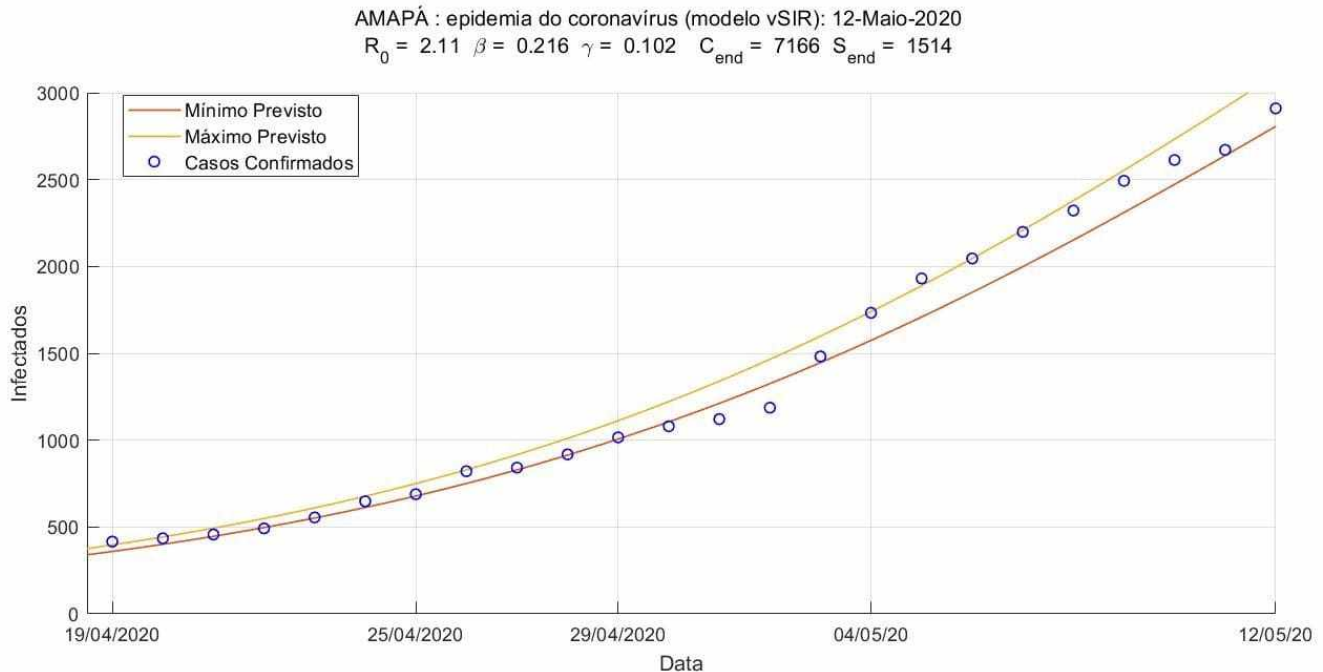
Figure 3 Croissance exponentielle initiale



Alors  
que la figure 3 présente une analyse à court terme avec l'ajusteur exponentiel (25 mars à 14 avril), dans les analyses ultérieures, les données confirmées de l'épidémie sont comparées au modèle mathématique SIR standard et à la variante employée par Batista (2020) ( que nous appelons vSIR, par souci de brièveté).

Figure 4. Simulation VSIR et intervalle de confiance

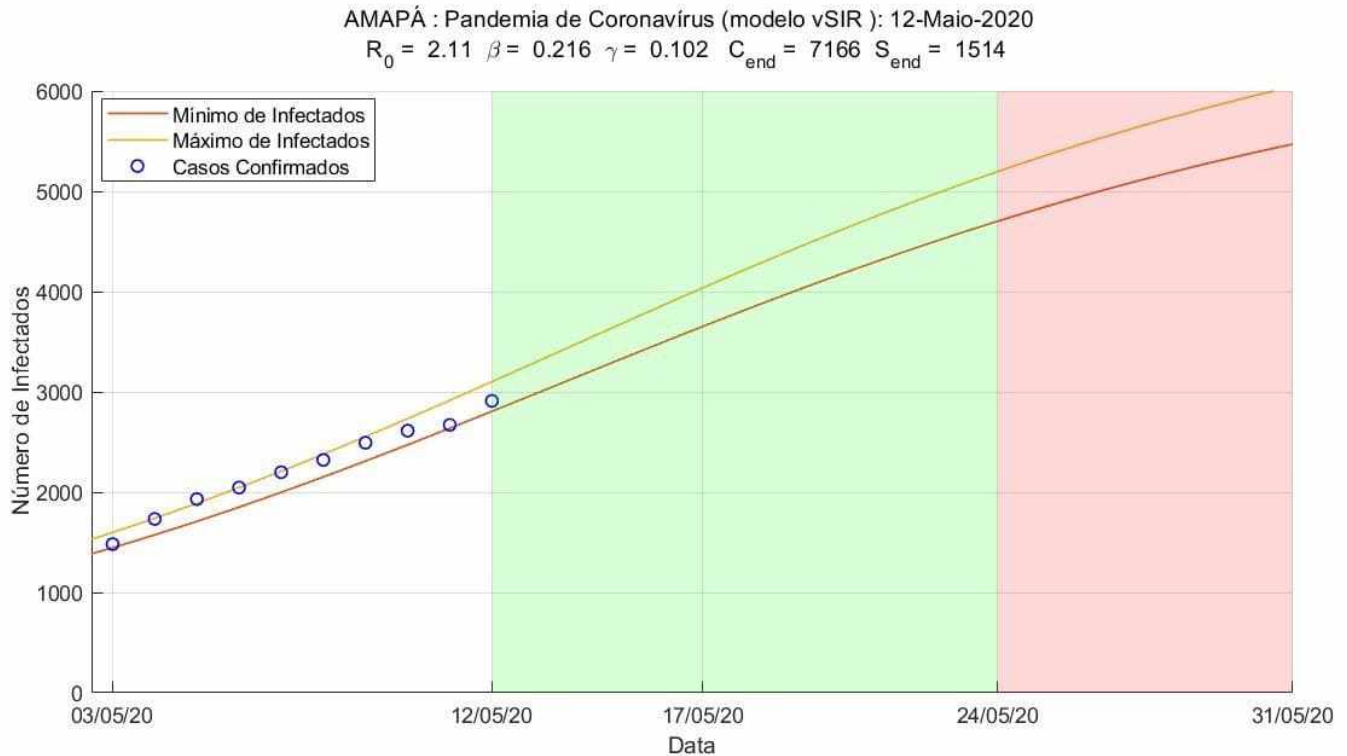
## Prédiction de la propagation du SRAS-CoV-2 dans l'État d'Amapá, Amazônia, Brésil, par modélisation mathématique



La simulation du modèle vSIR du 25.03 au 12.05.2020 illustré à la figure 03 montre l'intervalle de confiance (IC) qui définit les limites inférieure et supérieure des valeurs simulées afin de donner une probabilité de 95% d'inclure la valeur réelle de cas prédictifs. Il y a deux points aberrants qui se produisent respectivement le 1er mai 2020 et le 2 mai 2020, vendredi et samedi. Ces dates qui impliquent la fête nationale de la fête du travail et dont le nombre de personnes infectées ne répond pas aux attentes soulèvent des questions portant sur la méthode procédurale de collecte d'informations qui sera étudiée ultérieurement à partir d'une analyse des données in loco. Il convient également de noter que le modèle a été calibré sur la base des données réelles des personnes infectées depuis le début de la pandémie dans l'État.

Figure 5. Courbe de prédiction des cas jusqu'au 31.05.2020

## Prédiction de la propagation du SRAS-CoV-2 dans l'État d'Amapá, Amazônia, Brésil, par modélisation mathématique



Il est possible d'observer sur la figure 5 la courbe de prédiction des cas de Covid-19 dans l'état jusqu'au jour 31.05. Il apparaît que, jusqu'au jour 17.05 (dimanche), le modèle estime que l'État aura le nombre de cas infectés proche de 4000 (3651-4036), la semaine suivante au jour 24.05 ce nombre sera proche du 5 000 cas (4700-5196), et enfin jusqu'à fin mai, le 31 mai, ces valeurs tournent autour de 5 500 cas (5469-6044). soit presque le double de ce qui a été enregistré le 12.05. La zone verte de 12h05 à 24h05 représente les dates où le modèle est le plus efficace en prévision (dates de clôture), tandis que la zone rouge représente les dates où le modèle peut échouer dans la prédiction (BATISTA, 2020).

Les paramètres estimés pour les données Amapá, à l'aide de la programmation *fminsearch* de MATLAB, développée par Batista (2020), étaient les suivants:

Tableau 6 Paramètres estimés dans le modèle Vsir

$R_0$	$\beta$	$\gamma$
2.11	0.216	0.102

La valeur estimée du taux de reproduction de base  $R_0$  est conforme aux valeurs rapportées par la littérature spécialisée en revue systématique et métadonnées comme dans Liu (2020) et AliMohamadi (2020). Dans le graphique de la figure 04, une valeur = 7166 est également observée, ce qui est une projection du nombre de cas pour les jours suivant les données disponibles. Malgré le nom, il ne fait pas référence au nombre final attendu si les données disponibles sont encore aux stades initiaux et intermédiaires de l'évolution épidémique, comme c'est la situation actuelle des données dans le PA. Comme nous le verrons ci-dessous, le modèle vSIR fournit des prévisions sur 5 à 10 jours en ligne avec les données observées.

Dans le tableau 7, il est possible d'observer les valeurs prédites des cas, avec un IC à 95%. Il est à noter que ces valeurs sont valables s'il n'y a pas de changement dans les politiques publiques, ou dans les attitudes individuelles significatives, vers des mesures plus sévères par rapport à l'isolement.

Tableau 7. Prédiction du nombre d'infectés par jour.

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

*Source: Produit par les auteurs avec des données de recherche.*

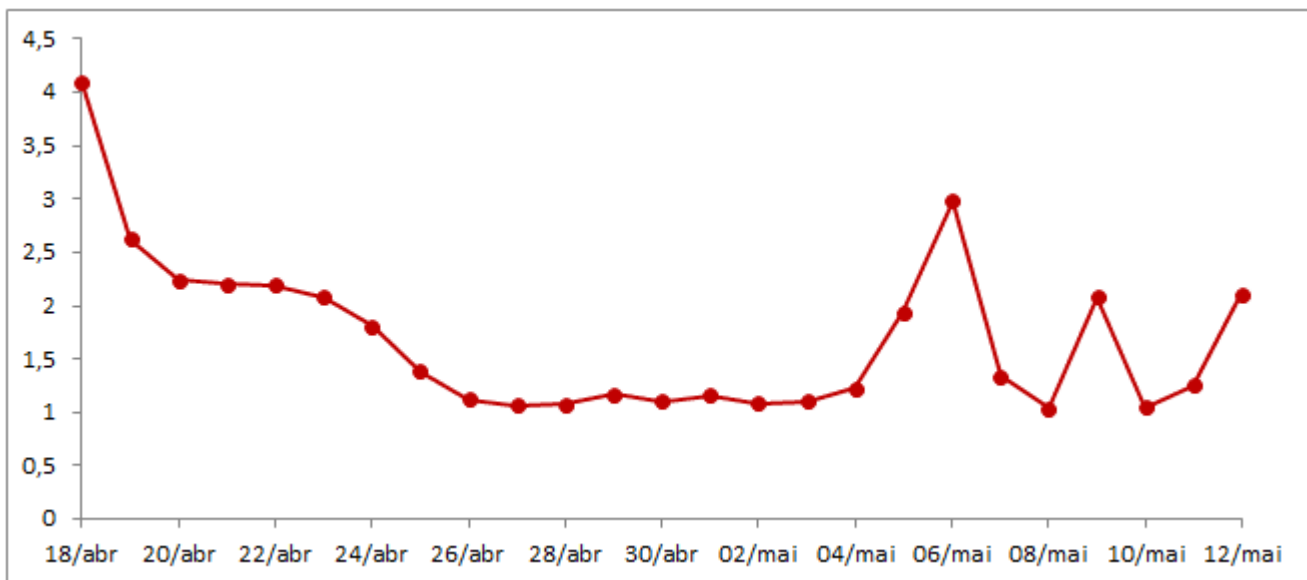
Compte tenu du tableau de prévision des cas cumulés d'infectés par covid-19 à Amapá, le 31 mai 2020, le modèle prédit que l'État peut avoir entre 5469 et 6044 cas cumulés. Compte tenu de la proportion  $p$  actuelle de létalité calculée pour cette unité fédérative, le 12 (dernier jour de collecte des données réelles) sa valeur était  $p = 2,95\%$ . En maintenant ce niveau, le



31 mai, nous pourrions avoir entre 161 et 178 décès dus à la maladie.

Concernant le nombre de base de reproduction  $R_0$ , le modèle vSIR a également généré une série chronologique pour le suivi quotidien de l'évolution de la surveillance quotidienne  $R_0$  vise à connaître l'ampleur détaillée de l'évolution de la maladie, en plus d'être un indicateur de public non pharmaceutique politiques d'atténuation de la maladie COVID-19.

Figure 6 Évolution quotidienne de  $R_0$ .



L'évolution quotidienne de  $R_0$  montre que les valeurs les plus basses se sont produites entre le 26 avril ( $R_0$  26/04 = 1,12) et le 3 mai ( $R_0$  03/05 = 1,1) cette période de faible  $R_0$  peut indiquer que l'arrêté gouvernemental du 03 avril contribué à réduire le taux de reproduction de base, mais pas suffisamment pour le ramener à moins de 1, ce qui est idéal pour contrôler l'épidémie. A partir du 3 mai,  $R_0$  a de nouveau augmenté, étant sur le 12/5 au niveau de 2,11, cette augmentation peut indiquer un relâchement de la quarantaine par la population, dont la relation avec  $R_0$  est inverse, réduisant la quarantaine, augmentant  $R_0$  et vice versa. versa, comme indiqué dans Dandekar et Barbastathis (2010).

## LIMITES DE L'ÉTUDE

Alors que dans le modèle SIR il n'y a que deux paramètres à estimer (à savoir le taux de transmission  $\beta$  et la récupération  $\gamma$ ), dans le modèle vSIR nous avons la possibilité d'estimer un paramètre supplémentaire qui est la taille effective de la population  $N$ . Avec ces trois paramètres  $\{\beta, \gamma, N\}$  nous avons pu décrire de manière satisfaisante la série chronologique du nombre de cas confirmés dans l'état d'Amapá.

Notre modélisation peut également être améliorée dans les travaux futurs compte tenu des limitations suivantes:

- Il y a une limitation de l'application linéaire et générale du modèle ICL, d'une part, et d'autre part, d'éventuelles inexactitudes doivent être observées en raison de l'interdépendance et de la complexité des conditions spécifiques du développement humain au Brésil – déjà mentionnées, telles que la concentration démographique accentuée dans des dizaines de villes, les conditions précaires d'assainissement de base dans les communautés défavorisées, les logements avec résidents par pièce au-dessus du recommandé par l'Organisation mondiale de la santé (OMS), l'absence historique d'autres expériences d'urgence sanitaire avec des mesures de cette taille et de cette norme. En d'autres termes, le Brésil a une proportion et des conditions démographiques spécifiques, ce qui augmente l'imprécision des modèles généraux.
- La sous-déclaration des cas de covid-19 est un facteur qui a été signalé à plusieurs reprises dans le monde, ce qui, dans le cas brésilien, en raison de la réduction du nombre de tests, rend l'incidence de ce facteur critique. Par exemple, récemment  $\sim 86\%$  (intervalle de confiance à 95%: 82-90%) de sous-déclaration a été estimée aux premiers stades de l'évolution de l'épidémie lorsque les restrictions de voyage n'étaient pas encore imposées (LI, 2020). Pour Amapá, il existe des estimations qui prévoient un taux de sous-déclaration d'environ 11,2%, selon une note technique publiée le 11 avril (BATISTA et al, 2020b).
- Le modèle vSIR ne prend pas en compte le nombre de cas asymptomatiques. Par exemple, dans l'article de synthèse de (BUITRAGO-GARCIA, 2020), une limite supérieure pour la proportion d'infections asymptomatiques SRAS-CoV-2 d'environ 29% (intervalle de confiance à 95%: 23-37%) a été estimée. Une stratégie pour obtenir une estimation de la fraction des cas asymptomatiques à Amapá consiste à investir dans le test d'une proportion massive de la population.

## CONCLUSIONS

Dans la première approche, une projection comparative linéaire du modèle ICL a été développée pour COVID-19 appliquée au Brésil pour Amapá, dont les conclusions soulignent l'urgence des mesures les plus précoces de l'isolement social, compte tenu de la nécessité d'éviter une contagion massive et accélérée en la localité. Nous avons également cherché à observer les conditions générales du contexte pandémique. Il existe une imprécision quant à la vitesse effective de transmission et d'infection, bien qu'entourée d'un certain degré de mesure, des mois après le début d'une pandémie déclarée, elle implique directement le respect des normes locales respectives.

La seconde approche a été médiatisée par la solution à court terme des équations du modèle SIR. Cette solution a fourni la croissance exponentielle typique qui s'est avérée être en accord avec les données observées jusqu'au 14 avril, permettant d'obtenir une estimation préliminaire de  $R_0$  entre [1 340, 3 271]. Dans les jours suivants, un écart brutal et précoce dans le *fit* exponentiel peut être remarqué en raison des mesures d'isolement adoptées.

Dans la troisième approche, le modèle vSIR a été appliqué aux données infectées réelles. Il a été vérifié que le taux de reproduction de base  $R_0$  pour Amapá est  $\sim 2,11$ , montrant que l'épidémie dans cet état est en pleine expansion, ce fait est encore plus aggravé par l'information d'isolement social qui montre que l'Etat, à la lumière du premier Le décret de quarantaine a atteint 56% de ses citoyens isolés le 5 avril, mais ce nombre est tombé à 43% le 12 avril.

Pour qu'il y ait une diminution du niveau de contrôle de l'épidémie ( $R_0 < 1$ ), il faut que le taux de transmission  $\beta$ , qui est maintenant à  $\sim 0,216$ , subisse une diminution de plus de 53% afin d'avoir  $R_0$  sous contrôle, ce qui n'est possible qu'avec des actions rigoureuses pour contrôler la dispersion de la population pour réduire les contacts entre individus, ralentissant ainsi l'interaction entre individus sensibles et infectieux.

## MERCI

Les auteurs remercient particulièrement Milan Batista de l'Université de Ljubljana pour ses contributions utiles dans l'utilisation du code open source pour Matlab et pour le soutien du CAPES et du CNPQ dans le développement de ce travail, à travers l'octroi d'une bourse de doctorat et soutien à la recherche.

## LES RÉFÉRENCES

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/jpmp-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.

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 ( $R_0$ ). *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.

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 em: <<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: <<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.>](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 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

#### ANNEXE – RÉFÉRENCE DES NOTES DE BAS DE PAGE

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

<sup>[1]</sup> Mathématicien, doctorant en génie mécanique – FEB / UNESP-SP. Professeur et chercheur au cours de mathématiques de l'Université fédérale d'Amapá (UNIFAP).

<sup>[2]</sup> Mathématicien, doctorant en santé publique – FIOCRUZ / RJ. Professeur du cours de mathématiques à l'Université fédérale d'Amapá (UNIFAP).

<sup>[3]</sup> Physicien, Master en Physique (UFF), doctorant au Centre Brésilien de Recherche Physique (CBPF).

<sup>[4]</sup> Historien, docteur en histoire comparée, professeur et chercheur du cours d'histoire, des programmes d'études supérieures en développement régional et en propriété intellectuelle et transfert de technologie pour l'innovation, Université fédérale d'Amapá (UNIFAP).

<sup>[5]</sup> Letras, Maître de conférences en éducation (UNIFAL) Maître de conférences à l'Institut fédéral d'Amapá (IFAP).

<sup>[6]</sup> Biomédical, doctorat en maladies tropicales, professeur et chercheur du cours de médecine à l'Université fédérale d'Amapá (UNIFAP).

<sup>[7]</sup> Biologiste, docteur en théorie et recherche du comportement, professeur et chercheur au Collège de chimie, Campus Macapá, Institut fédéral d'Amapá (IFAP).

<sup>[8]</sup> Biologiste, docteur en maladies topiques, professeur et chercheur du cours d'éducation physique à l'Université fédérale du Pará (UFPA).

<sup>[9]</sup> Théologien, PhD en psychanalyse clinique. Il a travaillé pendant 15 ans avec la méthodologie scientifique (méthode de recherche) dans l'orientation de la production scientifique des étudiants de maîtrise et de doctorat. Spécialiste en étude de marché et recherche axée sur le domaine de la santé.

<sup>[10]</sup> Mathématiques, doctorat en modélisation informatique, professeur et chercheur du cours de mathématiques à l'Université fédérale d'Amapá (UNIFAP).

Soumis: Mai, 2020.



## Prédiction de la propagation du SRAS-CoV-2 dans l'État d'Amapá, Amazônia, Brésil, par modélisation mathématique

Approuvé: Mai, 2020.