

Confins

Revue franco-brésilienne de géographie / Revista franco-brasilera de geografia

37 | 2018 Número 37

Numéro 37



Crédits : Hervé Théry 2018

Hervé Théry et Neli Aparecida de Mello-Théry

Editorial do número 37 [Texte intégral]

Editorial du numéro 37 [Texte intégral | traduction]

Cathy Chatel et François Moriconi-Ebrard

Les 32 plus grandes agglomérations du monde : comment

l'urbanisation repousse-t-elle ses limites ? [Texte intégral]

The 32 largest agglomerations in the world : How is urbanization pushing its limits?

Os 32 maiores aglomerados do mundo: Como a urbanização está empurrando seus limites?

Benedito Ely Valente da Cruz et Rosangela Ap. Medeiros Hespanhol

Indicação geográfica e queijos artesanais : marco legal e desafios a uma política para este segmento no Brasil [Texte intégral]

Indications géographique et fromages artisanaux : cadre légal et défis d'une politique pour ce segment au Brésil

Geographical indication and artisanal cheeses: Legal Framework and challenges to a policy for this segment in Brazil

Tatiana Schor, Gustavo S. Azenha et Estevan Bartoli

Contemporary urbanization in the Brazilian Amazon: food markets,

multisited households and ribeirinho livelihoods [Texte intégral]

Urbanização contemporânea na Amazônia brasileira: mercados de comida, domicílios multissitiados e modo de vida ribeirinho

L'urbanisation contemporaine en Amazonie brésilienne : marchés alimentaires, ménages multisites et moyens de subsistance des ribeirinhos

Viviane V. de V. Amanajás

Pesca e perfil socioeconômico dos pescadores artesanais da fronteira setentrional do Brasil: a comunidade pesqueira de Oiapoque, Amapá

[Texte intégral]

La pêche et le profil socio-économique des pêcheurs artisanaux de la frontière nord brésilienne : la communauté de pêcheurs d'Oiapoque, Amapá

Fisheries and socioeconomic profile of artisanal fishermen on the northern border of Brazil: the fishing community of Oiapoque, Amapá

Amanda Machado de Almeida et Eduardo Vedor de Paula

Áreas de preservação permanente de topos: das alterações na legislação brasileira às suas diferentes interpretações [Texte intégral]

Les zones de préservation permanentes des sommets : les changements dans la législation brésilienne à leurs différentes interprétations

Permanent preservation areas of hilltops: of the changes in the Brazilian law to different interpretations

Aruanã Antônio dos Passos et Nair Sanzovo Pivatto

Saber do espaço e colonização regional: constituição territorial e expedições geográficas no sudoeste do Paraná [Texte intégral]

Connaissance de l'espace et de la colonisation régionale: constitution territoriale et expéditions géographiques au sud-ouest du Paraná

Knowing space and regional colonization: territorial constitution and geographical expeditions in southwest of Paraná

Junior Ruiz Garcia, Bruno César Brito Miyamoto et Alexandre Gori Maia

Eventos extremos de precipitação : identificação e análise da bacia hidrográfica do Rio Jundiaí, São Paulo [Texte intégral]

Événements de précipitations extrêmes : identification et analyse du bassin hydrographiques du Jundiaí, São Paulo

Extreme precipitation events: identification and analysis in the Jundiaí River Basin, São Paulo

Vincent Dubreuil, Karime Pechutti Fante, Olivier Planchon et João Lima Sant'anna Neto

Os tipos de climas anuais no Brasil : uma aplicação da classificação de Köppen de 1961 a 2015 [Texte intégral]

Les types de climats annuels au Brésil: une application du classement de Köppen de 1961 à 2015

The types of annual climates in Brazil: an application of the classification of Köppen from 1961 to 2015

Homenagem

Homage

Hervé Théry

Fernand Verger, pés no *slikke* e cabeça nas estrelas [Texte intégral]

Fernand Verger, les pieds dans la slikke et la tête dans les étoiles

Fernand Verger, feet in the slikke and head in the stars

Dossiê Geografia, saúde e ambiente: Uma abordagem da complexidade dos problemas atuais na saúde

Dossier Géographie, santé et environnement : Une approche de la complexité des questionnements actuels en santé

Sous la direction de **Helen Gurgel et Anne-Elisabeth Laques**

Helen Gurgel et Anne-Elisabeth Laques

Dossiê Geografia, saúde e ambiente: Uma abordagem da complexidade dos problemas atuais na saúde [Texte intégral]

Helen Gurgel et Anne-Elisabeth Laques

Dossier Géographie, santé et environnement : Une approche de la complexité des questionnements actuels en santé [Texte intégral]

Christovam Barcellos, Gustavo D. Buzai et Pascal Handschumacher

Geografia e saúde: o que está em jogo? História, temas e desafios [Texte intégral]

Géographie et santé : quels sont les enjeux ? Histoire, thèmes et défis

Geography and health: what is at stake? History, themes and challenges

Raul Borges Guimarães, Rafael de Castro Catão et Baltazar Casagrande

Raciocínio geográfico e complexos patogênicos atuais: análise comparativa da Dengue e da Leishmaniose Tegumentar Americana [Texte intégral]

Raisonnement géographique et les complexes pathogènes actuels : analyse comparative de la Dengue et de la Leishmaniose Cutanée Américaine

Spatial thinking of the present pathogenic complexes: comparative analysis of Dengue Fever and American Cutaneous Leishmaniasis

Ligia Vizeu Barrozo

Desigualdades na mortalidade infantil no Município de São Paulo: em busca do melhor indicador [Texte intégral]

Inégalités dans la mortalité infantile dans la municipalité de São Paulo : à la recherche du meilleur indicateur

Inequalities in infant mortality in the municipality of São Paulo: in search of the best indicator

Missifany Silveira, Mario Diniz de Araújo Neto, Helen Gurgel et Laurent Durieux

Sustentabilidade socioambiental e a saúde nos territórios (re)construídos por projetos hidrelétricos na Amazônia: o caso de Belo Monte. [Texte intégral]

La durabilité socioculturelle et la santé dans les territoires (re) construits par les projets hydroélectriques en Amazonie : le cas de Belo Monte

Sociocultural sustainability and health in territories (re)built by hydroelectric projects in the Amazon: the case of Belo Monte

Thibault Catry, Auréa Pottier, Renaud Marti, Zhichao Li, Emmanuel Roux, Vincent Herbreteau, Morgan Mangeas, Laurent Demagistri, Helen Gurgel et Nadine Dessay

Apports de la combinaison d'images satellites optique et RADAR dans l'étude des maladies à transmission vectorielle : cas du paludisme à la frontière Guyane française – Brésil [Texte intégral]

Contributions of the combination of optical and RADAR satellite images in the study of vector-borne diseases: the case of malaria at the border between French Guiana and Brazil

Contribuições da combinação de imagens ópticas e de RADAR no estudo de doenças transmitidas por vetores: o caso da malária na fronteira entre a Guiana Francesa e o Brasil

Erika Collischonn, Vincent Dubreuil et Francisco de Assis Mendonça

Relações entre o clima e saúde: o caso da dengue no Rio Grande do Sul no período de 2007 a 2017 [Texte intégral]

Relations entre le climat et la santé : le cas de la dengue dans l'État de Rio Grande do Sul pendant le période de 2007 à 2017

Relationship between climate and health: the case of dengue fever in Rio Grande do Sul during the period 2007-2017

Vincent Herbreteau, Daouda Kassié, Emmanuel Roux, Renaud Marti, Thibault Catry, Artadji Attoumane, Christophe Révillion, Jérémy Commins, Nadine Dessay, Morgan Mangeas et Annelise Tran

Observer la Terre pour appréhender spatialement les inégalités de

santé : regard historique et prospectif sur l'utilisation de la

télédétection dans le domaine de la santé [Texte intégral]

Observar a Terra para analisar a distribuição espacial das desigualdades da saúde: um olhar histórico e prospectivo sobre o uso do sensoriamento remoto no campo da saúde

Observing the Earth for a spatial understanding of health inequalities: a historical and prospective overview of the use of remote sensing in the health field

Imagens comentadas

Images commentées

Rúbia Gomes Morato

Perfil e percepção dos geógrafos brasileiros sobre suas formação e condições de trabalho [Texte intégral]

Profil et perception des géographes brésiliens sur leur formation et leurs conditions de travail

Profile and perception of Brazilian geographers about their training and working conditions

Ronaldo Barros Sodré

O novo cangaço no Maranhão [Texte intégral]

Le nouveau cangaço dans le Maranhão

The new cangaço in Maranhão

Resenhas

Comptes-rendus

Christian Girault

Uma nova travessia da Amazônia brasileira: as ricas contribuições da pesquisa de campo [Texte intégral]

Une nouvelle traversée de l'Amazonie brésilienne : les riches apports des recherches de terrain

A new crossing of the Brazilian Amazon: the rich contributions of field research

Eduardo Paulon Girardi

Uma nova edição do *Atlas do Brasil, disparidades e dinâmicas* [Texte intégral]

Une nouvelle édition de l'Atlas do Brasil, disparités et dynamiques

A new edition of Atlas do Brasil, disparities and dynamics

Dossier Géographie, santé et environnement : Une approche de la complexité des questionnements actuels en santé

Helen Gurgel e Anne-Elisabeth Laques



- ¹ En 2007, l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) a établi que l'existence de facteurs de risques environnementaux, jouent un rôle prépondérant dans plus de 80% des maladies fréquemment recensées (OMS¹). En tête des problèmes sanitaires associés à

l'environnement, les maladies diarrhéiques, les infections des voies respiratoires et le paludisme. Selon les estimations, 94% de la charge de maladies diarrhéiques sont attribuables à l'environnement. Ces maladies sont associées à des facteurs de risque tels que l'eau insalubre, l'absence d'hygiène et d'assainissement du milieu. Pour le paludisme, 42% des cas sont imputables à des facteurs environnementaux associés à des politiques publiques et à des pratiques concernant l'utilisation des sols, le déboisement, la gestion des ressources en eau, le choix des sites d'habitation.

- 2 Peut-on alors penser qu'une meilleure gestion de l'environnement pourrait contribuer à une réduction de la charge de morbidité ? Encore faut-il alors définir ce concept polysémique d'environnement pour lui donner une dimension intégrée et opérationnelle dans les démarches d'analyses scientifiques. Contrairement à ce qui est communément admis en santé publique, l'entrée par l'environnement ne peut pas seulement faire référence aux problèmes liés aux conditions de vie (expositions aux nuisances comme le bruit ou l'insalubrité) à la contamination des milieux (pollution de l'eau, de l'air, des sols...) ou bien aux changements environnementaux (climatiques, ultra-violets...). Si la santé et l'environnement sont bien deux domaines étroitement liés nous aborderons l'environnement comme une construction sociale où l'homme, en fonction de ses contraintes et potentialités transforme et aménage des milieux, eux-mêmes caractérisés par des contraintes et potentialités. Il en résulte des systèmes spatiaux plus ou moins propices à la circulation de maladies dans lesquels l'organisation des sociétés va déterminer leur capacité de prise en charge du risque sanitaire et ainsi créer des profils sanitaires spécifiques. L'environnement en interactions avec la santé des populations doit être analysé comme un système complexe.
- 3 Par conséquent il est important d'intégrer à l'analyse, des connaissances sur les inégalités d'accès au soin ou à la prévention des populations et de manière plus générale, sur les politiques de santé publique souvent différemment appliquées d'un pays à l'autre. L'un des plus grands défis actuels qui se pose aux responsables de la Santé Publique en matière de santé environnementale est de construire des systèmes ou des dispositifs de surveillance et d'alerte qui permettent de mieux contrôler, les effets de l'environnement sur la santé humaine avec une approche capable d'intégrer une grande diversité de domaines dont certains relèvent de l'organisation sociale. Il est nécessaire d'éviter la sectorialisation de la prise en compte de l'environnement sur la santé, mais par grand type de problème (pollution...) ou de catastrophe (inondation, sécheresse...).
- 4 Ce dossier tente d'illustrer d'une façon variée une diversité d'analyse sur les interrelations entre l'environnement et la santé en se basant essentiellement sur la place jouée par les inégalités spatio-temporelles mais également en mobilisant des outils et des méthodes géographiques qui apportent un regard innovant sur un aspect de la connaissance à intégrer aux démarches scientifiques.
- 5 Les auteurs des articles de ce dossier sont associés au réseau construit dans le cadre du projet de JEAI-GITES (Jeune Equipe associée à l'IRD - Gestion, Indicateur et Territoire : Environnement et Santé au Brésil) que nous avons coordonné entre 2014 et 2018. Le Programme de JEAI (Jeunes Equipes Associées) est une initiative de l'IRD (Institut français de Recherche pour le Développement) qui vise à l'émergence ou au renforcement d'équipes de recherche des pays du Sud dans le cadre de partenariats scientifiques avec des unités de recherche de l'IRD.
- 6 La JEAI GITES avait pour objectif de renforcer la place de la géographie de la santé dans l'élaboration de dispositifs d'amélioration des connaissances, de surveillance et d'alerte

permettant d'intégrer les disparités spatiales des conditions de santé avec les dynamiques socio-environnementales des territoires.

Image 2000000900005B7600001986832224FD.wmf

Helen Gurgel & Anne-Elisabeth Laques

NOTAS

1. Prévenir la maladie grâce à un environnement sain : une estimation de la charge de morbidité imputable à l'environnement, OMS, 2007. Synthèse sur le sujet réalisée par plus de 100 experts du monde entier. Consultable sur <http://www.who.int/publications/list/9241594209/fr/index.html>

AUTEURES

HELEN GURGEL

Laboratório de Geografia, Ambiente e Saúde (LAGAS), Departamento de Geografia, Universidade de Brasília (UnB), helengurgel@unb.br

ANNE-ELISABETH LAQUES

UMR ESPACE-DEV, Institut de Recherche pour le Développement (IRD), anne-elisabeth.laques@ird.fr

Geografia e saúde: o que está em jogo? História, temas e desafios

Géographie et santé : quels sont les enjeux ? Histoire, thèmes et défis

Geography and health: what is at stake? History, themes and challenges

Christovam Barcellos, Gustavo D. Buzai e Pascal Handschumacher

- 1 A difusão de doenças constitui um dos grandes problemas que sempre afligiu a Humanidade. As alterações de sistemas fechados (homem-meio) em territórios que se tornam expostos por movimentos de população e mudanças das condições ambientais têm resultado em um grande número de mortes.
- 2 Por exemplo, se estima que, depois da chegada de Cristóvão Colombo na América, entre 1493 e 1620, morreram aproximadamente 100 milhões de indígenas em consequência de diferentes epidemias. Um dos códigos Astecas relata a epidemia de varíola de 1538 e revela a trágica dimensão do projeto europeu de colonização. Do outro lado do oceano, na Europa Central, um monumento na praça da Santíssima Trindade em Budapeste lembra as epidemias de peste de entre 1691 e 1709, que castigaram a população urbana.
- 3 O livro de Leonhard Ludwig Finke, “Versuch einer allgemeinen medicinisch-praktischen Geographie” (1), publicado em 1792, é a primeira obra em que se define o campo de estudo denominado “geografia médica” e que, sob o paradigma do determinismo, dispõe sobre a topografia das doenças. Este livro é considerado o início desta linhagem geográfica.



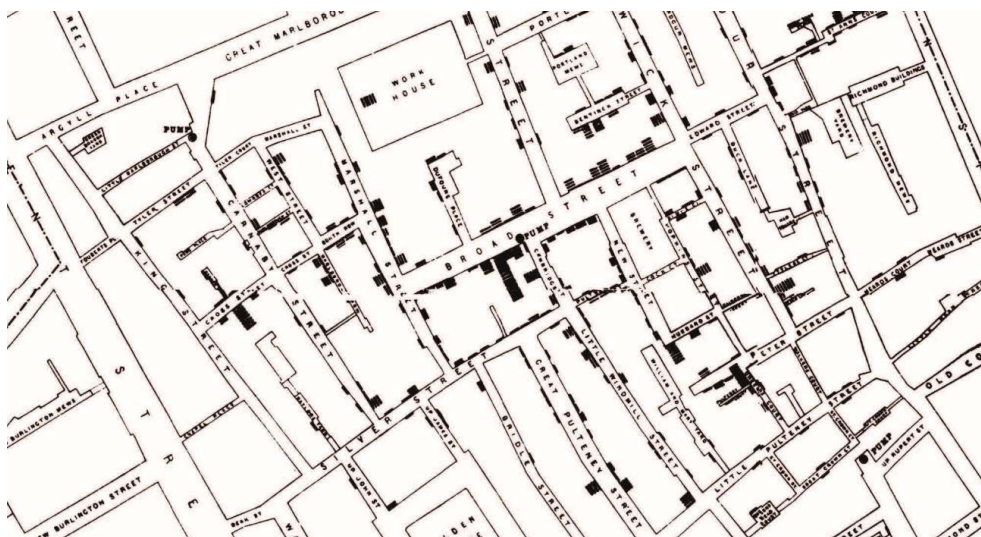
Figura 1: Atlas de Heinrich Karl Wilhelm Berghaus, 1852, com mapa das doenças no mundo (atlas alemão, um dos mais antigos nessa escala)



Publicado em: [Harvard Collection](#)

- 4 Motivado pela epidemia de cólera de 1854 no centro de Londres, que provocou 14.600 mortes, John Snow realizou um estudo cartográfico (2) que é considerado um trabalho clássico da epidemiologia, com grande contribuição do que seria posteriormente denominada geografia aplicada. A sobreposição de mapas mostrava uma concentração de mortes por cólera no entorno da bomba de água da Broad Street. Suas observações, apoiadas na análise espacial, o levariam a interditar a bomba, fazendo reduzir rapidamente a epidemia. Este é um claro exemplo dos mapas como ferramenta de organização e análise de dados que subsidiam decisões, podendo salvar vidas.

Figura 2: Mapa da cólera em Londres John Snow (1854)



- 5 É a partir deste evento que se estabelece a relação entre a cólera e a pobreza, o que gera um grande interesse pelos mapas sociais, por meio dos quais se pode avaliar a distribuição socioespacial da população das cidades. Os mapas produzidos entre 1886 e 1903 por Charles Booth, intitulados “Descriptive map of London poverty” (3) são exemplos da busca por correlações espaciais entre fatores sociais e a distribuição de problemas de saúde, com forte apelo visual.

Figura 3: “Mapa descritivo da pobreza de Londres” de Charles Booth



Produzido entre 1886 e 1903

Figura 4: Detalhe da legenda do mapa do de Charles Booth



Produzido entre 1886 e 1903

- 6 Foi também durante o século XIX que se estabeleceu uma clara divisão entre abordagens com ênfases em aspectos sociais ou ambientais. Os que possuíam uma perspectiva voltada para o social se aproximaram de uma visão higienista, centrada nos efeitos da Revolução Industrial, com especial interesse pelas condições de saúde da classe operária, suas condições de habitação e trabalho. O impacto do acelerado processo de urbanização, a deterioração das condições de vida dos habitantes das cidades e o fortalecimento do movimento operário na Europa provocou o interesse pelo estudo da pobreza nas cidades, os determinantes sociais de das doenças e principalmente a mortalidade, que constituíram bases da chamada epidemiologia social, para a qual contribuíram Louis René Villermé (França, na década de 1830), Edwin Chadwick e Friedrich Engels (Inglaterra, 1840) e Rudolf Virchow (Alemanha, 1850). Vários destes estudos utilizaram o espaço urbano como critério para distinguir condições de vida. Na América Latina, devido às guerras internas da época e o controle de uma enorme população de escravos, obviamente excluídos de toda política de equidade, a produção científica da epidemiologia social foi incipiente.

Figura 5: Mapa da história da cólera em Exeter (Reino Unido) em 1832 de Thomas Shapter.

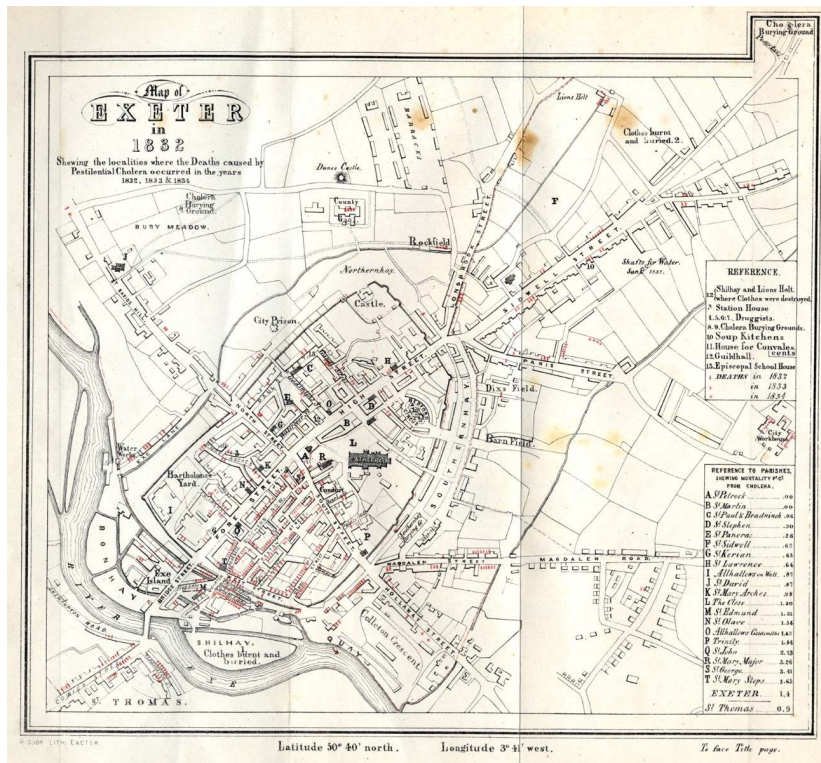
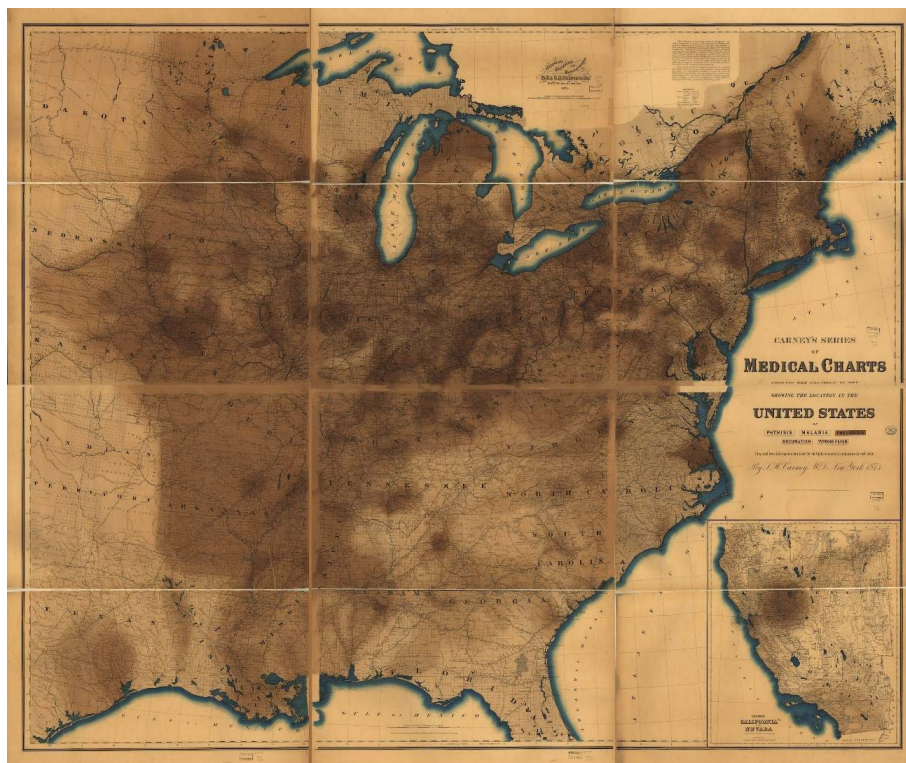


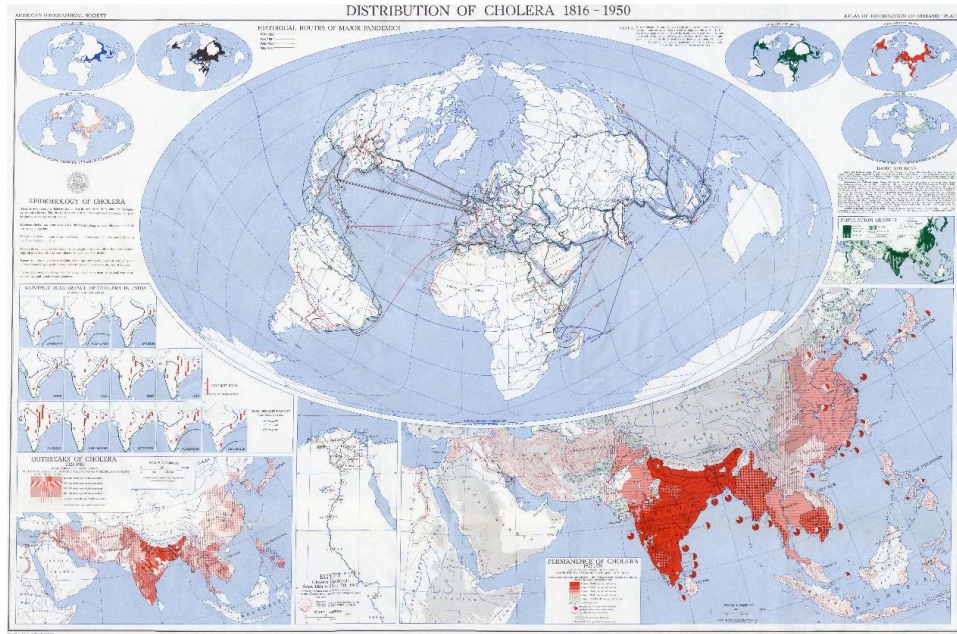
Figura 6: A série de cartas médicas de Carney, L. H. (1874) mostrando a localização nos Estados Unidos da Pneumonia



Publicado por New York: G.W. & C.B. Colton & Co., 1874

- 7 De outra parte, a abordagem geográfica-ambiental sobre a saúde se destaca pelo aporte pioneiro de Max Sorre (4) no início do século XX, que introduziu o conceito de “complexos patogênicos”. Este conceito alude a uma trama de relações estáveis e permanentes existentes entre os seres vivos, o homem e o ambiente, que se conformam em determinados lugares de encontro entre hospedeiros e agentes patogênicos, viabilizados por condições ambientais particulares, e na produção de doenças.
- 8 Apesar do predomínio à época do paradigma da geografia regional, de caráter descritivo, estas ideias proporcionaram estudos de um ponto de vista sistêmico, operacionalizado pelo método de sobreposição cartográfica, combinando elementos antrópicos e naturais para a identificação e localização de habitats. Além de Max Sorre, estes procedimentos tiveram grande influência a partir de autores como Evgeny Pavlovsky, que realizou estudos sobre endemias de um ponto de vista ecológico, isto é, baseados nas relações entre seres vivos e o ambiente físico, e considerando os princípios de equilíbrio entre meio interno e meio externo, entre homem e meio, e entre agente causal e hospedeiro. Estes modelos, ainda que adequados para o estudo de algumas endemias, não permitiram compreender a distribuição espacial de doenças infecciosas emergentes e doenças não transmissíveis que se magnificaram nas últimas décadas.
- 9 Em 1949, o Congresso da União Geográfica Internacional (UGI), realizado em Lisboa trouxe o reconhecimento oficial à geografia médica, apoiado na definição de saúde da Organização Mundial de Saúde (OMS) em 1946, considerada como o estado de completo de bem-estar físico, mental e social, e não só a ausência de agravos ou doenças. Jacques May (5), em 1950, ampliou a definição dos complexos patogênicos (composto por agentes causais, vetores, hospedeiros) com o conceito de “complexos geogênicos” (aspectos sócio demográficos e econômicos). O objetivo permanecia sendo o de determinar as áreas de risco de doenças e cartografar sua distribuição espacial, principalmente, no mundo subdesenvolvido, de clima tropical. Para May, a geografia médica consistia no estudo sistêmico das doenças da terra e da população.

Figura 7: Mapa de Jacques May (1951) da distribuição da cólera no mundo



Publicado em: *Geographical Review*, n.41, v.2, p.272-272, 1951

- 10 Durante a segunda metade do século XX se produziu a revolução científica na geografia. A perspectiva racionalista, baseada em procedimentos de reconstituição regional de bases qualitativas, ganha escopo conceitual, que se amplia com a introdução de métodos quantitativos e a busca de modelos e leis científicas que trazem novas pautas para o estudo da de distribuição espacial. Ao mesmo tempo, a visão ecológica passa a ser complementada por outra definição de estudos geográficos, correspondente ao estudo da diferenciação de espaços sobre a superfície terrestre, uma definição vertical e horizontal complementar à abordagem da dimensão espacial.

Figura 8: Mapa de Pyle, G.F.(1969) da difusão da cólera nos EUA no século XIX.

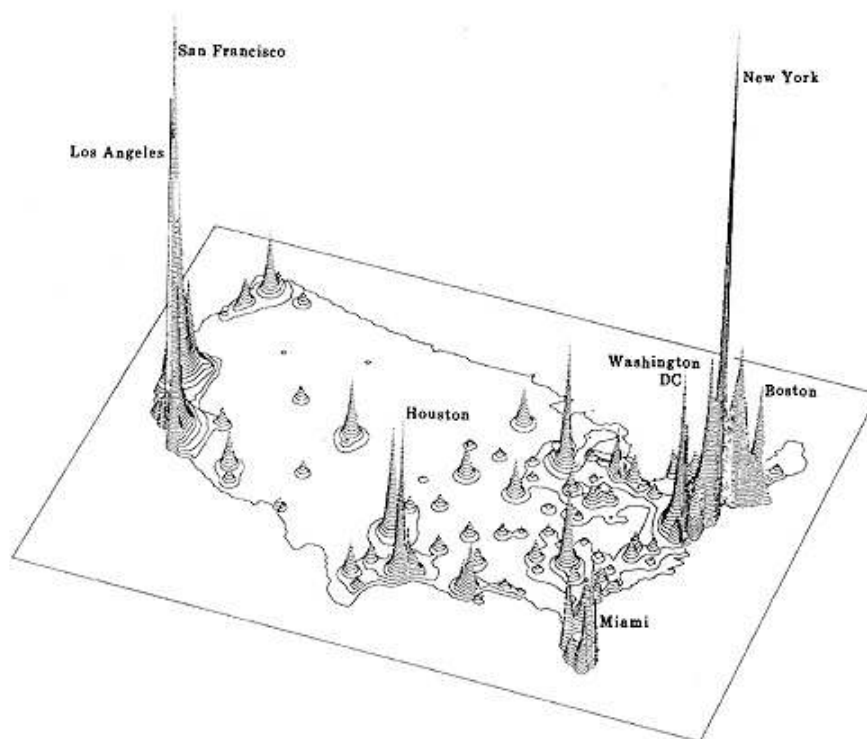
Image 2000000900009ABF0000F281F4FE11F3.wmf

Publicado em: *Geographical Analysis*, 1969, n.1, v.1, p 59-75

- 11 Durante os anos 1970 a 2000, pode-se relembrar os trabalhos de Jean-Pierre Hervouët, sobre a oncocercose e a doença do sono (Tripanossomíase Humana Africana) na África Ocidental, realizados diretamente na linha de evolução da disciplina. Desenvolvidos no contexto de programas interdisciplinares, permitiram compreender a dinâmica epidemiológica dessas doenças históricas em múltiplas escalas temporais e espaciais, mas sempre articulando informações biológicas, demográficas e geográficas nas escalas que correspondem à realidade dos fenômenos de transmissão. Assim, se libertando dos espaços delimitados a priori para reconstruir os espaços relevantes do ponto de vista da exposição e da transmissão. Jean-Pierre Hervouët (1987 e 1990) (6 e 7) abriu o caminho para diversos estudos geográficos nas interfaces entre ambientes e sociedades, realizados desde então, nas paisagens em mutação, tanto na África Subsaariana quanto em outras áreas em transformação no Sul, dando conta assim da produção de áreas de risco à saúde e suas dinâmicas.

- 12 Na epidemiologia, observou-se um avanço dos modelos de análise, sobretudo voltados para a compreensão dos aspectos que envolvem a produção de doenças não transmissíveis. Estes estudos adotaram técnicas de coleta e análise de dados baseados em fatores de risco, entendidos não como causas diretas destas doenças, mas como elementos necessários para sua ocorrência. Surgem então os modelos multicausais e desenhos de estudos baseados em variáveis obtidas no nível individual. Os modelos de risco coletivo, genericamente chamados de “ecológicos” são desvalorizados. A geografia e sua contribuição conceitual e metodológica para o entendimento dos contextos socioambientais geradores de problemas de saúde perdem importância sob este novo paradigma. A acelerada urbanização, junto à crise ambiental mundial, introduziu, a partir da década de 1970, novas preocupações e concepções sobre a Saúde Coletiva. Os modelos que haviam sido desenvolvidos para a análise de endemias rurais se mostraram inadequados para explicar a permanência de doenças transmissíveis, como a o recrudescimento da tuberculose nas cidades, e a emergência de novas doenças.
- 13 A epidemia de AIDS tampouco pôde ser compreendida como um fenômeno característico de grupos de risco possíveis de serem delimitados no espaço e na sociedade. A sua evolução nas últimas décadas evidenciou a necessidade de se utilizar modelos de difusão, abertos, que enfatizem a interação social como meio de propagação da epidemia. A perda de um nicho específico, onde se produzem as doenças, bem como a complexidade dos sistemas ecológicos e sociais contemporâneos exigiram a incorporação de conceitos chave de organização espacial e dinâmica socioespacial nos estudos sobre a distribuição de doenças, como os trabalhos realizado por Peter Gould (8).

Figura 9: Dimensões geográficas da epidemia da Aids de Peter Gould (1989).



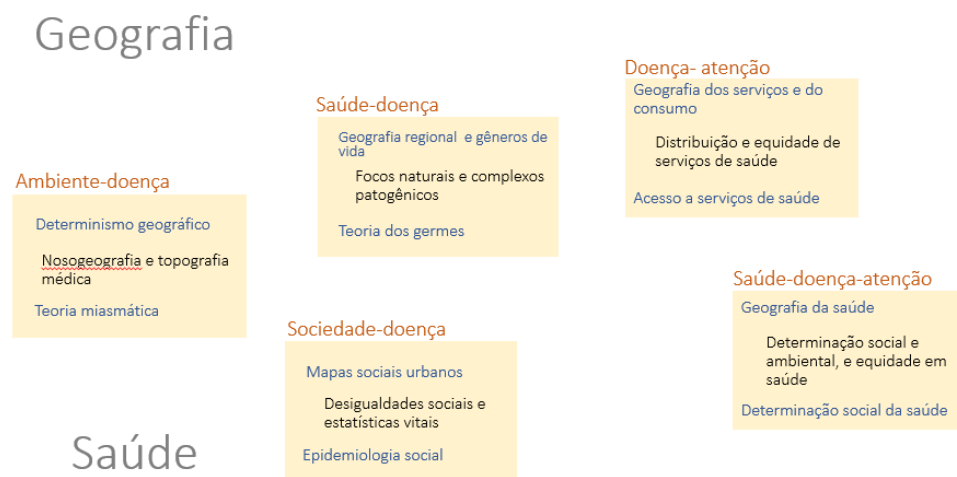
Publicado em *Professional Geographer*, n.4, v. 1, p.71-77, 1989

- 14 Coincidentemente, em 1976, durante um novo congresso da UGI, realizado em Moscou, se reconheceu a mudança da denominação, da geografia médica para a geografia da saúde, incluindo duas linhas de aplicação bem definidas: por um lado, a geografia das doenças (campo tradicional da geografia médica) e, por outro, a geografia dos serviços de saúde (campo tradicional da geografia dos serviços). De um lado, a preocupação principal é o estudo do processo saúde-doença. Do outro, o binômio doença-atenção. Os métodos de associação espacial se convertem e elementos chave para a compreensão da interação entre a produção de riscos, a deterioração da saúde, as condições de vida, o acesso aos serviços de saúde e a equidade dos sistemas de saúde. A análise da localização, distribuição e evolução espacial dos problemas de saúde é finalmente integrada.
- 15 O campo de estudo da geografia da saúde, na sua configuração atual permite que diferentes perspectivas paradigmáticas possam contribuir para o entendimento dos diversos níveis de determinação dos problemas de saúde. A diversidade de temas e abordagens metodológicas verificada na atualidade demonstram a dinâmica de uma geografia da saúde caracterizada, não somente por um enfoque geográfico sobre questões de saúde, mas principalmente uma ciência aplicada à saúde, que se constitui num movimento generoso, de oferta de conceitos e métodos empregados para compreender e atuar sobre os problemas de saúde.
- 16 Como parte da evolução epidemiológica e sanitária que acompanha a transição demográfica, a geografia da saúde tem gradualmente reservado as abordagens relacionadas às doenças infecciosas transmissíveis, e em particular às doenças transmitidas por vetores, ao campo coberto pelo conceito do complexo patogênico. Ao propor o conceito de sistema patogênico nas décadas de 1970 e 1980, Henri Picheral (1983) (9) abriu o conceito fundador da geografia médica para novos perfis epidemiológicos progressivamente dominados por doenças ligadas ao prolongamento da vida e às mudanças de estilo de vida. Em uma abordagem sistêmica, esse conceito revisitado se revela assim mais apto a analisar as heterogeneidades espaciais da saúde dominadas pelas doenças cardiovasculares, cânceres ou doenças neuro-degenerativas, mas também por acidentes de trânsito ou exposição a substâncias tóxicas que gradualmente se tornam causas de morbidade e até mortalidade. Essas transições demográficas, epidemiológicas e de saúde, atingindo mais tardiamente, mas de maneira mais rápida, nos países do Sul. Levam à coexistência de múltiplos perfis patológicos, dando à questão das desigualdades em saúde uma nova dimensão complexa através da produção de coexistências de territórios de saúde heterogêneos. Assim, especialmente nas cidades dos Países do Sul, populações caracterizadas por perfis dominados por doenças transmissíveis “históricas” (malária, sarampo, desnutrição...) estão próximas, ou mesmo entrelaçadas, com populações dominadas por novas causas de morbidade e mortalidade. Estas questões de saúde pública opostas ou até mesmo contraditórias levam aos atores e tomadores de decisão a escolhas difíceis, de modo a alocar os meios, muitas vezes reduzidos, à realidade das necessidades, muitas vezes imensas. Identificar a realidade da distribuição das necessidades, tanto em termos de populações como de espaços, coloca o território no centro do jogo científico, tornando a geografia uma disciplina importante no desenvolvimento sanitário do espaço. Ao fazer desta questão o centro de suas preocupações sobre as cidades dos países do Sul, Gerard Salem (1998) (10) desenvolveu uma reflexão sobre o propósito dos geógrafos da saúde em torno da compreensão da produção e do funcionamento dos territórios de saúde. Assim, a identificação de espaços, fronteiras, descontinuidades da saúde encontra para os geógrafos a sua razão de ser e o

seu desenlace, voltando a centrar-se nesta questão central dos territórios, muito além das abordagens puramente geoepidemiológicas.

- 17 A própria definição de problema de saúde permite a ampliação de temas e enfoques de estudos de geografia da saúde, muito além de um conjunto limitado de doenças. Segundo Castellanos (11), a situação de saúde de um grupo determinado populacional é constituída por um conjunto de problemas de saúde, descritos de acordo à perspectiva de um ator social. As necessidades de saúde, por outro lado, são estabelecidas por comunidades visando o enfrentamento dos seus problemas. Segundo este ponto de vista, são essenciais os processos participativos em que se estudam ou planejam ações sobre os problemas de saúde.
- 18 A geografia da saúde procura compreender o contexto em que ocorrem os problemas de saúde, para poder atuar sobre territórios, não sobre os indivíduos, nem sobre organismos. Diferente de outras disciplinas, a geografia busca uma perspectiva macroscópica dos problemas de saúde, permitindo compreender a dinâmica do processo saúde-doença e de doença-atenção à saúde. A diversidade de temas da geografia da saúde é também resultado dos diversos campos de atuação da Saúde Coletiva, que reúne as ações de vigilância de doenças e seus determinantes, a atenção e organização dos serviços de saúde, e a promoção de saúde, esta última de desenvolvimento relativamente recente. Estudar estes problemas requer uma visão ampliada de saúde, que abarque desde a prevenção de doenças até o acesso a serviços de saúde, isto é, reconhecendo a inseparabilidade do processo de saúde-doença-atenção.
- 19 Podemos sintetizar que hoje constitui o maior desafio da geografia da saúde compreender as particularidades de cada problema de saúde, e suas relações com processos gerais, como a globalização, a expansão e crise do capitalismo, a precarização do trabalho, a vulnerabilidade das populações e territórios, a degradação ambiental, a urbanização, entre outros. Esta visão ampliada de saúde requer, por outro lado, a aplicação de todo o corpo conceitual da geografia, superando dicotomias comuns da disciplina, como a geografia física e humana, urbana e rural, regional e geral, quantitativa e qualitativa, etc. Se a Saúde Coletiva é um campo de estudos interdisciplinar e diversificado, também a geografia deve dispor de um extenso instrumental, de modo de oferecer meios para a compreensão dos processos de saúde. A cartografia e o trabalho de campo são alguns dos instrumentos desenvolvidos no âmbito da geografia que podem ser empregados para a compreensão dos contextos dos problemas de saúde. Não por acaso, estes elementos metodológicos estão presentes nos diversos estudos contemporâneos de epidemiologia social, ecologia de doenças, distribuição de serviços de saúde, desigualdades sociais, difusão de doenças, entre outros. Também o uso de dados secundários, produzidos por censos e inquéritos populacionais, e dados oriundos dos sistemas de saúde, permitem a construção e análise de indicadores de saúde, que inseparável vêm sendo amplamente utilizados na geografia da saúde.
- 20 Os diversos temas e abordagens atuais da geografia da saúde demonstram o esforço de abranger o contexto dos problemas de saúde, sua composição social, política e ambiental e suas particularidades locais.

Figura 10: Síntese da relação geografia e saúde



Elaborada pelos autores

- 21 A geografia da saúde, por sua história, seus conceitos e métodos, permite trazer um olhar original às questões atuais relacionadas aos fenômenos de emergências patológicas, à difusão de hospedeiros e agentes infecciosos ou à produção de desigualdades em saúde. Enriquecendo-se com novas ferramentas que são cada vez mais eficientes, dados com uma abundância cada vez maior, mas às vezes de precisão incerta. Deve encontrar em suas realizações metodológicas e conceituais e nas lições aprendidas de trabalhos anteriores, a capacidade de aproveitar ao máximo este progresso para enriquecer suas contribuições científicas sem afastar de seu objeto fundamental, os territórios de saúde.
- 22 Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) por meio do projeto 306087/2014-6 e a Jovem Equipe Associada ao IRD (Instituto francês de Pesquisa para o Desenvolvimento) – JEAÍ-GITES Brasil (Gestão, Indicador e Território em Ambiente e Saúde no Brasil).

BIBLIOGRAFIA

Booth C. Descriptive map of London poverty. Edinburgh : Edward Stanford ; 1889. Disponível em: <https://tinyurl.com/y7vt6wew>

Castellanos PL. Sobre el concepto de enfermedad. Descripción y explicación de la situación de Salud. Boletín Epidemiológico. 1990;10(4):1-7. Disponível em: <http://hist.library.paho.org/Spanish/EPID/8366.pdf>

Finke LL. Versuch einer allgemeinen medicinischpraktischen Geographie. Leipzig: Weidmannsche Buchhandlung; 1792. Disponível em: https://archive.org/details/b28772325_0001

Gould, P. Geographic dimensions of the AIDS epidemic. *The Professional Geographer*. 1989, v. 41, n. 1, p. 71-78. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.0033-0124.1989.00071.x>

Hervouët J.-P. et Laveissière C. Les grandes endémies : l'espace social coupable. *Politique Africaine*, 1987, 28: 21-32. Disponível em: <http://www.politique-africaine.com/numeros/pdf/028021.pdf>

Hervouët J.-P. Les bases du mythe du dépeuplement des vallées soudaniennes par l'onchocercose. In : Blanc-Pamard Chantal (ed.). *Dynamique des systèmes agraires : la santé en société : regards et remèdes*. Paris : ORSTOM, 1992, p. 273-302. (Colloques et Séminaires). Santé, Alimentation, Environnement, 1990. Disponível em: http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_6/colloques1/35954.pdf

May JM. Medical geography: Its methods and objectives. *The Geographical Review*. 1950 ; 50:10-41. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/210990>

Picheral H. Complexes et systèmes pathogènes : approche géographique. in: *De l'épidémiologie à la géographie humaine*. Travaux et documents de géographie tropicale. 1983, 48, pp. 5-22

Salem G. « La santé dans la ville. Géographie d'un espace dense : Pikine [Sénégal] », Editions Karthala-ORSTOM, Paris, 1998, 360p Disponível em: http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_7/b_fdi_03_04/010013634.pdf

Snow J. On the mode of communication of cholera. 2th ed. London: John Churchill; 1855. Disponível em: <https://archive.org/details/b28985266>

Sorre M. Complexes pathogènes et géographie médicale. *Annales de Géographie*. 1933; 42(235): 1-18. Disponível em: www.persee.fr/doc/geo_0003-4010_1933_num_42_235_10619

RESUMOS

Este artigo busca resgatar as origens da geografia da saúde, desde a produção dos primeiros mapas de doenças até a incorporação de novas técnicas de análise espacial nas últimas décadas. Esta evolução também foi acompanhada por uma profunda revisão de paradigmas, teorias e métodos, ora com maior ênfase nas relações entre homem e ambiente, ora com abordagens que relacionam a estrutura socioespacial com os problemas de saúde nas diversas escalas em que estes se manifestam. A geografia da saúde atual se defronta com a necessidade de se articular a associação entre o processo de saúde-doença com o binômio doença-atenção, em busca da equidade, da prevenção de doenças e agravos e da promoção da saúde.

Cet article cherche à retrouver les origines de la géographie de la santé, depuis la production des premières cartes des maladies jusqu'à l'incorporation de nouvelles techniques d'analyse spatiale au cours des dernières décennies. Cette évolution s'est également accompagnée d'une révision en profondeur des paradigmes, des théories et des méthodes, en mettant davantage l'accent sur la relation entre l'homme et l'environnement, et avec des approches qui relient la structure socio-spatiale aux problèmes de santé aux différentes échelles où ils se manifestent. La géographie actuelle de la santé est confrontée à la nécessité d'articuler l'association entre le processus santé-maladie et le binôme maladie-attention, à la recherche de l'équité, de la prévention des maladies et des maladies et de la promotion de la santé.

This article seeks to recover the origins of health geography, from the production of the first disease maps to the incorporation of new spatial analysis techniques in the last decades. This

evolution has also been accompanied by a profound review of paradigms, theories and methods, with a greater emphasis on the relationship between man and the environment, and with approaches that relate socio-spatial structure to health problems at the various scales where they manifest themselves. The current health geography is confronted with the need to articulate the association between the health-disease process and the disease-care binomial, in search of equity, prevention of diseases and diseases and health promotion.

ÍNDICE

Mots-clés: Géographie de la santé ; théories de la géographie, santé publique, cartographie de la santé

Keywords: Health geography; theories of geography, public health, health mapping

Palavras-chave: Geografia da saúde; teorias da geografia, saúde coletiva, mapeamento de saúde

AUTORES

CHRISTOVAM BARCELLOS

Instituto de Comunicação e Informação Científica e Tecnológica em Saúde (ICICT), Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz), Rio de Janeiro, Brasil. xris@fiocruz.br

GUSTAVO D. BUZAI

Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas - CONICET. Universidad Nacional de Luján, Buenos Aires, Argentina. buzai@unlu.edu.ar

PASCAL HANDSCHUMACHER

UMR SESSTIM, Institut de Recherche pour le Développement (IRD), Marseille, France. pascal.handschumacher@ird.fr

Raciocínio geográfico e complexos patogênicos atuais: análise comparativa da Dengue e da Leishmaniose Tegumentar Americana

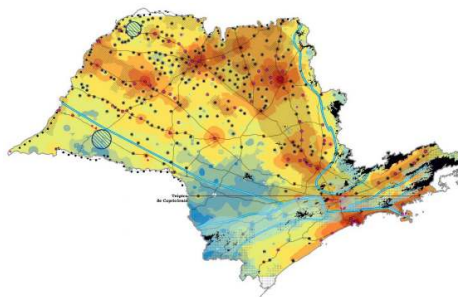
Raisonnement géographique et les complexes pathogènes actuels : analyse comparative de la Dengue et de la Leishmaniose Cutanée Américaine

Spatial thinking of the present pathogenic complexes: comparative analysis of Dengue Fever and American Cutaneous Leishmaniasis

Raul Borges Guimarães, Rafael de Castro Catão e Baltazar Casagrande

Introdução

- 1 O conjunto de conceitos e metodologias adotado por qualquer ciência é resultado do acúmulo de experiências de pesquisa, assim como do esforço teórico para compreensão do próprio pensamento, o que se denomina de “Estatuto epistemológico”. No presente artigo iremos refletir a respeito do Estatuto Epistemológico da Geografia da Saúde, sistematizado com base em autores clássicos da disciplina enquanto uma forma específica de pensar os complexos patogênicos do Dengue e da Leishmaniose Tegumentar Americana na atualidade (LTA). Não pretendemos realizar um percurso exaustivo pela história do pensamento geográfico, mas iremos destacar algumas obras essenciais de geógrafos franceses que possibilitaram a compreensão das principais características do raciocínio geográfico para a compreensão dessas doenças infecto-parasitárias de grande importância sanitária no Brasil.
- 2 Segundo Claval (2014), a fonte original de onde a Geografia científica irá buscar as primeiras referências será o pensamento grego, especialmente, a grade de referência para a localização através de um sistema de coordenadas referenciado nas observações astronômicas e fundamentada na geometria. Era possível, assim, adotar procedimentos para a descrição da Terra a partir de qualquer ponto da superfície do planeta, estabelecendo uma grande tarefa da Geografia, como a ciência de “descrição da Terra” (GEO=Terra+grafia=descrever). O mapa-mundi do astrônomo e geógrafo Cláudio Ptolomeu, no século II d.C., é o documento que sintetiza o conhecimento gerado pelos gregos da superfície terrestre. Fazer Geografia era inscrever as coordenadas geográficas dos lugares conhecidos no mapa do mundo.
- 3 Mas a descrição da superfície terrestre não foi suficiente para o desenvolvimento do raciocínio geográfico e da Geografia enquanto “Ciência da Terra”. Era preciso a busca de explicações dos efeitos das forças atuantes na apropriação do meio e a relação entre elas. Foi desse detalhamento metodológico que se constituiu o que se denomina de princípios da Geografia, que podem ser definidos como linhas mestras ou certos atributos que caracterizam o raciocínio geográfico. Eles envolvem desde os raciocínios mais elementares até os mais complexos, que foram progressivamente sendo incorporados ao campo científico da Geografia¹.
- 4 É Paul Vidal de La Blache, em *Princípios da Geografia humana* (1921) que irá explicar o princípio da unidade terrestre. Para ele, caberia aos geógrafos a descrição dos fatos sociais, estabelecendo a compreensão da unidade das partes no todo terrestre, proporcionando a superação da fragmentação aparente da realidade. A partir desse princípio elementar do raciocínio geográfico, uma tarefa básica da disciplina seria a busca de uma visão de totalidade, tendo como ponto de partida cada fato geográfico.
- 5 Esse princípio originário da Geografia de La Blache irá se desdobrar em outros princípios decorrentes desse raciocínio, como o da extensão e da localização. O princípio da extensão pressupõe a delimitação da área da superfície terrestre onde se manifesta o fenômeno. Da mesma forma, todo o fato geográfico é localizável na superfície terrestre, o que exige a resposta de uma pergunta básica do raciocínio geográfico: onde está?



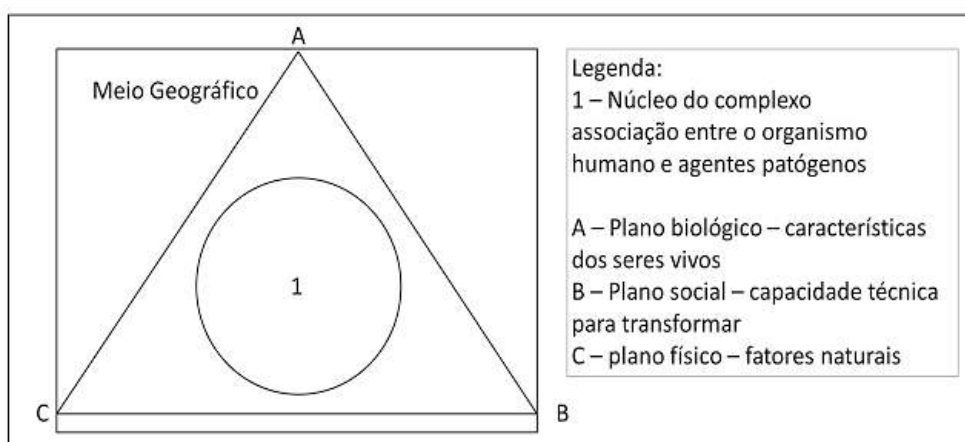
- 6 Ao estabelecer a localização dos fatos na superfície terrestre, os geógrafos formam uma visão de conjunto dos fenômenos estudados. E, ao considerar a localização de diferentes aglomerados e a distância entre eles, apreende-se outro princípio: o da distribuição espacial - relacionada ao modo como os dados são repartidos e subdivididos pelo espaço.
- 7 Para Jean Brunhes (1869 – 1930) a reflexão da distribuição espacial necessariamente deveria estar associada à da ação humana que transforma o meio em meio geográfico. É daí que decorre o princípio da atividade, uma vez que a Geografia é um estudo essencialmente da relação dos seres humanos com a natureza, e dos processos que asseguram a existência das coletividades que o ocupam. Segundo ele, o espaço seria assim considerado, ao mesmo tempo, um dado da natureza e resultado da criação humana (BRUNHES: 1962, p.41).
- 8 Na medida que os geógrafos foram detalhando a forma de pensar a unidade terrestre, proposta há mais de cem anos por Vidal de La Blache, caminhou-se dos raciocínios mais elementares até os mais complexos, envolvendo os princípios da conexão e da ordem espacial.
- 9 É Max Sorre (1967) que irá discutir com mais detalhes a conectividade entre os elementos do espaço. Segundo ele, os geógrafos não podem se contentar apenas com a descrição da distribuição dos fatos pela superfície terrestre, mas precisam buscar compreender esses fatos nas interações através das quais eles se produziram e se desenvolveram. Essa análise envolve tanto as conexões mais próximas entre os elementos das interações locais até as conexões mais amplas de um mesmo elemento (relevo, clima, vegetação, obras humanas) e sua interdependência entre todas regiões do planeta.
- 10 Max Sorre também será responsável pelo aprofundamento da aplicação dos princípios do raciocínio geográfico no estudo da saúde, como veremos adiante.

O Complexo Patogênico de Max Sorre

- 11 Nas primeiras décadas do século XX, foi o geógrafo francês Max Sorre quem melhor traduziu o raciocínio geográfico para o estudo das grandes regiões nosológicas do globo. E, para isto, foram fundamentais os princípios gerais da ciência geográfica da época. Dentre esses princípios, o da extensão era o mais importante para Sorre (1933), uma vez que permitia a instrumentalização para a apreensão da doença como um fenômeno localizável, passível de delimitação em termos de área. Em “Fundamentos biológicos de la Geografia humana”, Sorre conclui que as áreas de extensão das enfermidades eram muito diferentes (SORRE, 1955, p. 301), o que colocava o problema do tamanho das unidades territoriais de estudo como uma das maiores dificuldades para a análise da distribuição das enfermidades.
- 12 Enfrentando os problemas da Ecologia relacionados às associações entre os seres vivos, especialmente os mecanismos de equilíbrio entre a disseminação de parasitas e as formas de resistência de hospedeiros, Sorre se dedica mais atentamente àquelas doenças cujo ambiente era propício a circulação de agentes patogênicos transmitidos por vetores, como a febre amarela, a malária e a doença do sono; elaborando uma formulação acerca da adaptação entre os indivíduos e sociedades com os ambientes. O Ecúmeno era para ele uma rede de complexos inter-relacionados que se sobrepõem e se imbricam (MOREIRA, 2008), numa visão ecológica das relações.

- 13 Com base nesses pressupostos, Sorre propõem, assim, o conceito de “Complexo Patogênico”, segundo o qual haveria “um suporte vivo” (hospedeiros e vetores) na determinação da história natural de diversas moléstias. Desta maneira, o desenvolvimento de uma doença num agrupamento humano seria resultado da interação entre o agente patógeno (vírus, bactéria, fungo, protozoário, dentre outros), o hospedeiro humano e o meio geográfico. Para Sorre (1933, p.19), a definição de Complexo Patogênico seria “L’aire d’extension d’une maladie endémique ou ‘epidémique, c’est l’aire d’extension d’un complexe pathogène. Expliquer cette aire d’extension, ses mouvements de contraction ou de dilatation, c’est, d’abord, résoudre un problème d’écologie”.
- 14 Entre os complexos existentes no planeta², o Complexo Patogênico se estabeleceria a partir de três planos onde se desenvolve a atividade humana (SORRE, 1967): o plano biológico (características individuais dos seres vivos), o plano social (capacidade técnica dos seres humanos de agir para transformar) e o plano físico (fatores naturais, como a altitude, a temperatura, vegetação, etc.). Veja a figura 1.

Figura 1 – Complexo Patogênico, de acordo com Max Sorre



Elaborado pelos autores

- 15 Em seu nível elementar (núcleo do complexo), a doença seria resultado da associação entre o organismo humano e os agentes patógenos. Quando o ciclo de vida dos agentes patógenos envolve a transmissão humana, o meio geográfico e outros seres vivos (hospedeiros e vetores), o complexo resulta numa ordem maior, cujos atributos geográficos são a extensão, a situação e a conexão. O primeiro termo (extensão) refere-se à dimensão espacial em termos de área e fronteiras, o que implica em movimentos de expansão e contração dos limites do complexo, favorecidos pela ação humana. A situação implica na localização relativa entre complexos patogênicos de uma mesma região nosológica do planeta. Por sua vez, o termo conexão diz respeito ao elo existente entre os complexos e as ações humanas num sistema de relações no qual nenhuma elemento é isolado dos outros, mantendo uma dependência mútua (SORRE: 1955, p. 281).
- 16 Para Sorre, a proposição do conceito de complexo patogênico, como outro complexo geográfico qualquer, pode ser considerado tanto um ponto de vista como um método. Trata-se de um ponto de vista uma vez que busca nas interações entre os elementos que compõem o espaço geográfico, uma visão integrada e dinâmica da relação sociedade/natureza, mediada pelo trabalho humano, reforçando a ideia de unidade terrestre como

uma ordem maior. Ao mesmo tempo, o conceito de complexo patogênico deve auxiliar a compreensão da unidade da ciência, ao propor a conexão das partes com o todo, nos oferecendo um princípio de método para a abordagem do encadeamento de fenômenos geográficos de diferentes naturezas com os mecanismos e processos que geram a organização espacial, com uma hierarquização de unidades, áreas e domínios. Assim, em cada região nosológica do planeta, certos complexos patogênicos seriam mais favoráveis em função das características ambientais e das condições de adaptação das comunidades humanas locais (SORRE, 1967, p. 43).

- 17 De acordo com o conceito de Sorre, as relações ecológicas estabelecidas em cada complexo seriam patogênicas porque a sua existência, de maneira estável e localizável no espaço, resultaria na produção de doenças e na deterioração da saúde humana. Em cada complexo patogênico, seria a ação dos homens que asseguraria a permanência ou o declínio das doenças (SORRE, 1933, 1955). Assim, os complexos patogênicos poderiam ser constituídos pela extensão estável dos entes da cadeia epidemiológica de uma doença - vetores, agentes patológicos e o ser humano (SORRE, 1933). O complexo patogênico seria um tipo especial de complexo geográfico no qual os seres de diversos graus de organização encontram-se associados ao meio por um elo de ligação central entre os seres humanos e os agentes patógenos, desencadeado pela relação sociedade/natureza mediada pelo trabalho (SORRE, 1967, p.35).
- 18 Como Sorre destaca, nas doenças infecto-parasitárias o homem não é somente hospedeiro, senão agente transformador do meio e, por isto, gênese dos complexos, o que permite concluir que é a mesma ação humana a que assegura a manifestação, intensificação, permanência ou declínio das enfermidades. Estes complexos aparecem, subsistem ou se desintegram segundo as circunstâncias de concentração ou dispersão de seus elementos e se desenvolvem em certas condições de equilíbrio, seja externo ou interno (SORRE, 1933). Ou seja, embora Sorre não trabalhasse diretamente com a difusão espacial de doenças, ele lançou as bases dos complexos patogênicos, que têm imbuído em seu interior o movimento no tempo e no espaço das doenças e seus vetores.
- 19 A localização, que permite com que ocorra a inter-relação e a posterior infecção, não é aleatória no espaço e no tempo. Ela deve-se, na escala local, a um conjunto de fatores determinantes de ordem natural e social, oriundos de diversas escalas que são combinadas de maneira particular naquele lugar: a produção diferenciada de reservatórios, a densidade demográfica, a interação entre os lugares que o agente patógeno circula endemicamente e a rede de relações que fazem as pessoas se deslocarem entre diferentes lugares.

Releitura do modelo teórico de Sorre

- 20 O conceito de Complexo Patogênico foi desenvolvido por Max Sorre num período de expansão da sociedade urbano-industrial, o que representou transformações ecológicas sem precedentes em termos dos fluxos de energia e da dinâmica dos ciclos naturais, com enormes consequências ambientais (GUIMARÃES, 2005). No tempo de Sorre, o rápido crescimento urbano verificado em todo o mundo e os intensos fluxos migratórios provocaram diversos tipos de impactos ambientais no sistema terrestre, abalando as relações ecológicas e disseminando inúmeras doenças.

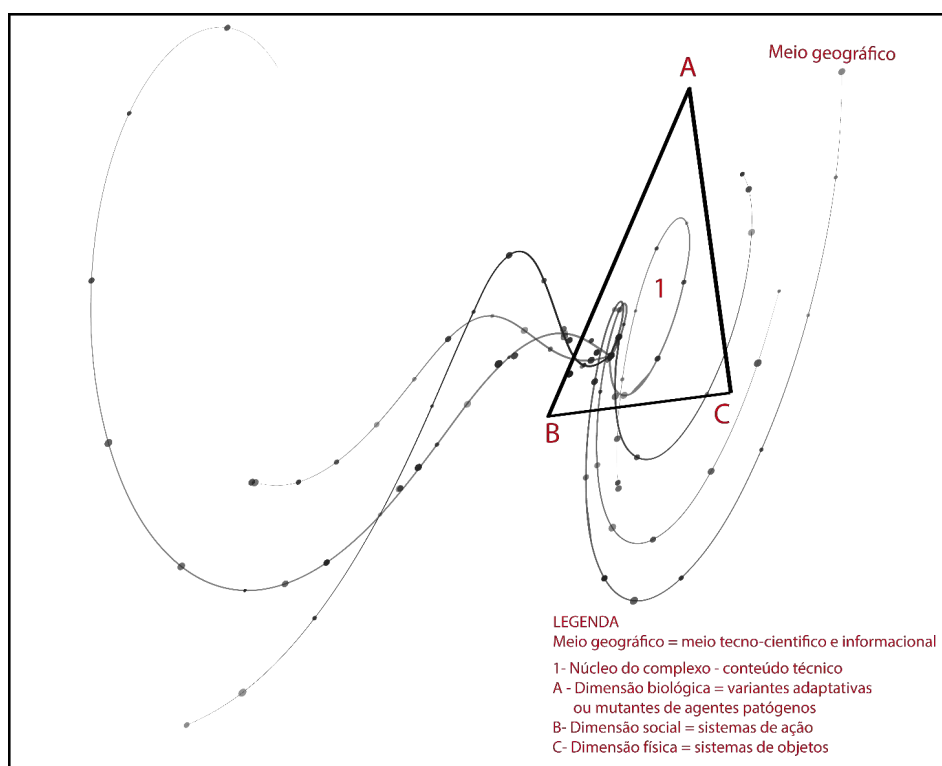
- 21 Mas no mundo pós-guerra, a abordagem espacial da saúde coletiva será relegada ao segundo plano, com o deslocamento do enfoque ecológico para o debate a respeito do estilo de vida, enquanto conjunto de comportamentos, hábitos, atitudes dos diferentes segmentos sociais (agrupados por etnias, idade, sexo; de acordo com SILVA, 1997). Por meio do uso de fármacos, campanhas de imunização em massa e expansão da infraestrutura urbana, irá se observar a queda gradativa das curvas de mortalidade e morbidade de inúmeras doenças infecto-parasitárias. A diminuição da mortalidade por tuberculose, escarlatina, sarampo, dentre outras doenças, terá como uma das conseqüências demográficas mais diretas, o aumento da esperança de vida e, consequentemente, o aumento da importância das doenças crônico-degenerativas. O progresso da estatística em saúde e dos estudos de coorte e caso-controle irão consolidar as pesquisas dos grupos populacionais de risco, cujo trabalho da equipe de MacMahon, em 1960, transformar-se-á na obra de referência (BARRETO, 1994, p. 23).
- 22 O mundo pós-guerra também será marcado pelo intenso processo de descolonização e pela emergência de uma consciência sanitária, que coloca em evidência a enorme desigualdade de condições de vida entre os países do centro e da periferia do sistema mundial que se organizava ao redor das Nações Unidas (SANTOS, 1982). No decorrer desse processo, um novo período histórico se consolidou em escala planetária. Se na fase urbano-industrial a espécie humana criou o seu próprio fluxo de energia pela queima de combustíveis fósseis, neste novo período, denominado por Milton Santos (1997) de período técnico-científico, o motor da transformação da natureza não é mais o da máquina da indústria, e sim o da informação, fortalecendo cada vez mais os laços entre a ciência e a produção, e tornando os países cada vez mais conectados e integrados num sistema global.
- 23 Quando um objeto técnico é instalado num determinado lugar, as normas estabelecidas em lugares mais distantes se impõem, seja nos procedimentos a serem adotados com as máquinas, assim como nas relações de trabalho que envolvem o uso de novas tecnologias. É por isto que a norma é, no período técnico-científico, um dos fundamentos principais da ordem sistêmica. São os procedimentos organizacionais e os objetos técnicos instalados nos diferentes lugares que normatizam o território e, portanto, também normatizam a vida das pessoas, bem como suas relações com a natureza. Os dados, a flexibilização das ações e reações no mundo informacional, transcendem a sociedade para impor-se no planeta como um todo (SANTOS, 1996).
- 24 Esse processo impacta de maneira radical os complexos patogênicos, em função da importância crescente de decisões tomadas na escala global (verticalidades) e do conteúdo técnico existente tanto nas relações sociais como na relação da sociedade com a natureza.
- 25 O processo decisório cada vez mais distantes do espaço próximo, constitui vetores de verticalidade com força de transformar diferentes lugares conectados em rede (Santos, 2000). Isso produz uma sincronia entre os lugares com profundas implicações na mobilidade populacional, no fluxo de informações e nos padrões espaciais de morbimortalidade, o que precisa ser considerado na compreensão dos complexos patogênicos. Afinal, não é por acaso que algumas doenças antigas persistem e, ao mesmo tempo, há a emergência e reemergência de novas doenças que haviam diminuído sua presença, ou até mesmo desaparecido em determinados lugares, como o dengue e as leishmanioses.

- 26 Em vista destas novas características mundiais, vários pesquisadores começaram a apontar a necessidade de ampliação do conceito de Max Sorre. Assim, Pierre George (1978) aplicou o conceito de patógeno para o estudo de processos de exposição a produtos tóxicos (mercúrio, solventes, etc.), referindo-se à estruturação de espécies de Complexos Técnico-patogênicos, tendo a síndrome de minamata um exemplo mais didático. Para Verhasselt (1981), o conceito de patógeno deveria ser ampliado, englobando todos os processos que geram respostas ou adaptações do organismo, produzindo as enfermidades. Este é o caso da contaminação do ar pelas indústrias e veículos automotores, que causam o aumento das doenças respiratórias ou o ritmo acelerado e tenso de certos processos de trabalho que geram o stress e aumentam a incidência das doenças cardiovasculares. Picheral (1982), por sua vez, refere-se aos complexos patogênicos enquanto Complexos Sócio-patogênicos, na medida que a doença também é um produto social. Com base nestes autores, Curto de Casas (1985, 1993) discute a existência, no momento atual, de dois circuitos ou modelos interdependentes: o do Sistema Patogênico da pobreza e o Sistema Patogênico da industrialização.
- 27 As tentativas de ampliação do conceito de complexo patogênico citadas acima têm como preocupação a necessidade de analisar outros tipos de doenças, além daquelas estudadas por Sorre, como as crônico-degenerativas e as doenças ocupacionais. O desafio está posto. Tratam-se de esforços teóricos para transpor um conceito delineado na década de 1930 para o entendimento de um novo período marcado por muitas mudanças, inclusive do perfil epidemiológico. Afinal, apesar da grande contribuição dos estudos clássicos para o reconhecimento da relação entre o espaço e as doenças, diferenciando-se as localidades conforme a ocorrência de enfermidades (Silva, 1997), é preciso ir além da diferenciação espacial para se compreender como as doenças são produzidas nos dias de hoje.
- 28 A contribuição do presente artigo reside no esforço de análise de doenças infecto-parasitárias que persistem no mundo atual, como o dengue e a LTA. Por causa disso, entendemos que a expressão sugerida por Pierre George – Complexos Técnico-patogênicos, seja a mais adequada, desde que compreendida na sua relação com outros conceitos desenvolvidos mais recentemente pela Geografia. Nesta mesma linha de raciocínio, Barreto (2000) nos alerta a respeito da necessidade de avanço da abordagem teórica do espaço e de sua relação com as doenças, dada a complexidade das transformações impostas pelo mundo urbano. Desta forma, seria preciso o aprofundamento da análise de diversos conflitos, tais como: a valorização das formas de alteridade (como gênero, sexualidade, étnica) e a tendência de homogeneização dos mercados imposta pela globalização da economia; a ampliação da desigualdade de classe e da exclusão social, simultaneamente, ao aumento da cobertura de serviços de saúde; a emergência e reemergência de doenças infecto-parasitárias, coexistindo com novos problemas epidêmicos urbanos (violência, uso de drogas, acidentes de trânsito, dentre outros). O que está em jogo, segundo Samaja (2003), é o “esforço por pensar de maneira histórica, concreta e dinâmica a existência humana total: é dizer, como subjetividade corporificada/espacializada em todos os níveis de suas ações e seus objetos” (SAMAJA, 2003, p.107).
- 29 Para isso, seria preciso ultrapassar o nível mais descritivo do raciocínio geográfico, baseando-se numa teoria do espaço capaz de alcançar o entendimento das estruturas maiores que existem e atuam no mundo em constante movimento e transformação. Tratam-se de estruturas espaciais determinadas pelo modo de produção ou pela organização política dos países, compondo o que Pierre George denominou de princípio da ordem espacial. Segundo ele,

o espaço humanizado é espaço ordenado, a ordem podendo ser o efeito de evolução empírica ou de vontade de organização passada ou presente [...] que se projeta em diversas escalas: escala local no interior de uma aldeia ou de aglomeração urbana; escala regional no contexto de pequena região ou da parcela de um continente; escala internacional e intercontinental, na medida em que a vida de coletividades distintas depende de um sistema de trocas em grandes distâncias (GEORGE, 1969, p. 41-42).

- 30 Entendemos que a proposição de uma Geografia nova por Milton Santos é uma referência importante para o raciocínio geográfico dessa ordem espacial, num nível superior. Para este autor, o espaço é definido como um conjunto indissociável de sistemas de objetos e sistemas de ações, com uma organização interna, que desenvolve ininterruptamente processos e acumula tempos (Santos, 1985 e 1996). Os sistemas de objetos não podem ser entendidos sem o sistema de ações. As ações nesse sentido seriam “um processo dotado de propósito” e seria resultado das “necessidades, naturais ou criadas [...] que conduzem os homens a agir e levam a funções [...] Realizadas através de formas sociais, elas próprias conduzem a criação e ao uso de objetos, formas geográficas” (SANTOS, 1997, p. 82-83). As ações são imprescindíveis para se compreender os fluxos de pessoas e bens, assim como sua intensidade e velocidade. Os fluxos são resultados (diretos ou indiretos) das ações, que atravessam ou se instalam nos objetos geográficos (SANTOS, 1997).
- 31 O complexo patogênico que resulta desta integração informacional é mais ágil que os que o antecedem no tempo, uma vez que as enfermidades, seus focos e suas formas de operação, também se adaptam a esta nova situação e é por isto que a Epidemiologia atualmente deve lutar contra uma nova modalidade em matéria de complexos patogênicos: aquela que se desenvolve segundo padrões regidos pela tecnologia e pelo sistema complexo de estruturas espaciais (CARVALHEIRO: 1992, p. 38-39). Certamente, a relação sociedade/natureza mediada pelo trabalho, que caracterizava o complexo patogênico pensado por Max Sorre, não se aplica nesse novo contexto, tendo em vista a unidade indivisível homem-meio resultante do metabolismo do trabalho imposto pela inovação tecnológica (Moreira, 2004). As características do período técnico-científico, expostas acima, são suficientes para consideramos os Complexos Patogênicos atuais enquanto Complexos Tecno-patogênicos Informacionais. Veja a figura 2.
- 32 Observa-se uma mudança qualitativa na organização dos complexos patogênicos de doenças infecto-parasitárias, como o dengue e a LTA, uma vez que essas doenças são cada vez mais resultado da relação entre o corpo normatizado pela ciência e pela técnica, e as variantes adaptativas dos patógenos, o que influencia nas formas de distribuição e difusão espacial das doenças.
- 33 Opera-se daí uma unidade biológica de ordem superior (Complexo Patogênico), no qual se integram sistemas de ação (dimensão social) e de sistemas de objetos (dimensão física) numa extensão que extrapola fronteiras (redes) e conecta escalas de diversos níveis (verticais, da ordem de comando de cima para baixo; e horizontais, das relações de vizinhança do espaço banal). Tudo isto dentro de um contexto muito dinâmico, passível de rearranjos rápidos, o que torna a situação geográfica extremamente fluída.

Figura 2 - Complexo Tecno-patogênico Informacional da atualidade



Elaborado pelos autores

Complexos tecno-patogênicos informacionais da LTA e do dengue

- 34 A análise que desenvolvemos a seguir é decorrente dos resultados obtidos em estudos realizados no estado de São Paulo sobre a LTA e o Dengue (CASAGRANDE, 2018; CATÃO, 2016).
- 35 Evidentemente, dado as diferentes espécies vetoras dessas doenças, assim como os remanescentes florestais e diversas outras transformações do meio geográfico, não é possível afirmar que haja um único modelo de complexo patogênico que explique os padrões epidemiológicos da LTA e do dengue em diferentes regiões do Brasil e do globo. Para isto, é preciso considerar os arranjos espaciais específicos de cada localidade e testar o modelo proposto nesse tipo de análise, o que exige a necessidade de estudos comparados. Contudo, isso não invalida nosso esforço de pensar nas principais características dos Complexos Patogênicos na atualidade. E, para isso, é interessante a comparação das características dos complexos patogênicos da LTA e do dengue no território paulista.
- 36 A LTA e o dengue são doenças metaxênicas uma vez que seus agentes etiológicos dependem da realização de parte de seu ciclo vital (maturação e multiplicação) no organismo do vetor. Tanto uma como outra doença necessita de um artrópode (flebotomíneo e um culicídeo, respectivamente) como vetor para infectar uma pessoa ou um animal. Por causa disso, para se compreender essas doenças é preciso analisar as

características biológicas dos vetores, seus habitats preferenciais, assim como as relações ecológicas e sociais envolvidas no seu ciclo de vida, considerando-se os fatores propícios e os limitantes para sua existência.

- 37 A LTA é uma doença parasitária da pele e mucosas causada por uma diversidade muito grande de espécies do gênero *Leishmania* (LAINSON e SHAW, 2005), que são transmitidas por flebotomíneos (REITHINGER, et al., 2007).
- 38 Dentre os ciclos de transmissão da doença Costa (2005) destaca três perfis principais no Brasil: o Puramente Silvestre, Silvestre Modificado e Peri-urbano. O primeiro é denominado como Puramente Silvestre e ocorre através de surtos epidêmicos associados às mudanças no ambiente, como derrubadas de vegetação, construção de estradas, surgimento de povoados ou outro tipo de exploração por agricultura ou mineração. É uma situação que envolve o contato dos seres humanos com animais silvestres. O segundo perfil é a LTA Silvestre Modificada, que acontece em surtos epidêmicos sazonais em áreas de fragmentação florestal. O problema é apresentado no contato entre o peri-domicílio e a floresta, principalmente, no espaço utilizado para fins agropecuários. Neste caso a infecção ocorre quando os valores absolutos da população do inseto vetor (flebotomíneos) estão elevados. O terceiro e último perfil epidemiológico é o Peri-urbano, caracterizado como endêmico-epidêmico em áreas de colonização antiga, com participação de animais domésticos como o cão e equinos. Apontado como o perfil mais recorrente na região sudeste do país.
- 39 O dengue é uma doença de etiologia viral transmitida aos homens por mosquitos vetores, por isso é classificada como uma arbovirose (virose transmitida por artrópodes). Os vírus do Dengue pertencem ao gênero *Flavivirus*, família *Faviviridae*. Eles possuem quatro sorotipos, biológica e antígenicamente distintos, mas sorologicamente relacionados, a saber: DEN-1, DEN-2, DEN-3, DEN-4 e, mais recentemente, foi descoberto o DEN-5. Todos esses sorotipos causam tanto o Dengue com todas suas formas de manifestação, e constituiriam o que se denomina de Complexo do Dengue (TAUIL, 2001; GUBLER, 1997; OMS, 1999; PONTES; RUFFINO-NETO, 1994).
- 40 Segundo Gubler (2004), dentre todas as arboviroses conhecidas, o dengue é considerada a única completamente adaptada aos seres humanos, que mantém a circulação dos vírus em áreas urbanas, especialmente as grandes cidades de países tropicais. Contudo, ainda é registrada a existência de ciclos enzoóticos florestais, mas que, na escala global, não apresentam grande importância na atual transmissão e disseminação dos vírus.
- 41 Para Gubler (1998) seriam três principais ciclos de transmissão da doença: enzootico florestal, rural epidêmico, urbano endêmico/epidêmico. O ciclo enzootico florestal envolve espécies de primatas e mosquitos silvestres em florestas da África e Ásia. Esse ciclo pode envolver seres humanos que são infectados de maneira acidental. O segundo tipo de ciclo ocorre em ilhas pequenas ou comunidades pequenas ou isoladas, em que ocorre uma epidemia posterior à entrada de um sorotipo novo. Essa epidemia esgota os habitantes não-imunes, criando uma barreira geográfica por meio da imunidade de grupo. O último e principal ciclo de transmissão corresponde ao urbano endêmico/epidêmico que ocorre com o *Aedes aegypti*, em áreas urbanas em todo mundo intertropical e algumas regiões subtropicais (entre as latitudes 35° sul e 35° norte, mas podendo chegar a 45° norte nas épocas mais quentes do ano) (GUBLER, 1998).
- 42 O *Aedes aegypti* se constitui como principal vetor do Dengue na escala global, por ser responsável pelo ciclo urbano endêmico/epidêmico. Esse mosquito também transmite o

agente etiológico da febre amarela urbana, o vírus amarílico, também da família Flaviviridae. Apesar da importância do *Aedes albopictus* na transmissão do Dengue na Ásia, esse se configura apenas como um vetor secundário, tanto na Ásia como em outras partes do mundo.

- 43 No processo de adaptação ao meio antrópico, esse vetor utilizou-se de reservatórios de água produzidos pelo homem como local de criadouro para seus ovos, além de habitar os peridomicílios e, posteriormente, domicílios com uma profunda endofilia (GUBLER, 1997; BARRETO; TEIXEIRA; COSTA et al 2008). Carvalheiro (2006, p.1001) ressalta a importância da domiciliação de vetores na manutenção e explosão de doenças, uma vez que na “ausência de domiciliação, casos humanos esporádicos poderiam ocorrer, mas nunca um processo de massa”, como no caso do Dengue. Essa adaptação ao meio humano – antropofilia, domiciliação, endofilia, utilização de reservatórios antrópicos – permitiu ao *Aedes aegypti* se tornar presente em grandes quantidades nas cidades ou assentamentos humanos mais densos, além de ter sua disseminação orientada pelos meios de transporte por dispersão passiva (ovos).

Quadro 1: Comparativo - LTA e Dengue

Doença	Agente Etiológico	Vetores	Ciclos de transmissão
Dengue	Quatro sorotipos de vírus (DEN-1, DEN-2, DEN-3, DEN-4, *DEN-5)	Mosquitos do gênero <i>Aedes</i> .	Principal ciclo - urbano endêmico/epidêmico. Outros ciclos - enzootico florestal, rural epidêmico
LTA	Espécies do gênero de protozoários <i>Leishmanias</i> No Brasil, as mais importantes são <i>Leishmania (Viannia) braziliensis</i> , L. (L.) <i>amazonensis</i> e L. (V.) <i>guyanensis</i>	Diversas espécies de flebotomíneos	. Puramente Silvestre . Silvestre Modificado . Peri-urbano

*Encontrado apenas em zonas florestais e ciclos florestais

Elaborado pelos autores

- 44 Para se compreender o dengue no estado de São Paulo na escala regional, foram selecionadas variáveis importantes a partir da revisão de literatura, incluindo Kuno (1995), PAHO (1997), Araújo, Ferreira e Abreu (2008), Flauzino, Souza-Santos, Oliveira (2009) e Catão (2012), bem como a disponibilidade de dados. Grande parte desses dados estão disponíveis na Internet e são oriundos de instituições públicas, como o Sistema de Informação de Mortalidade (SIM) e Sistema Nacional de Agravos de Notificação (SINAN/CVE-SES), Superintendência de Controle de Endemias do Estado de São Paulo (SUCEN); Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais; assim como Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), conforme quadro abaixo.
- 45 Os dados dos determinantes socioeconômicos, da altitude da sede de município, municípios de infestação, casos e óbitos de dengue foram agregados por município, a exceção dos fluxos rodoviários que estão agregados por trecho de rodovia. Para isto,

selecionamos como recorte temporal o período de 1990 a 2012, que teve transmissão contínua do dengue no estado. Além dos determinantes incluímos também o acumulado de casos de dengue clássico, óbitos e os municípios infestados.

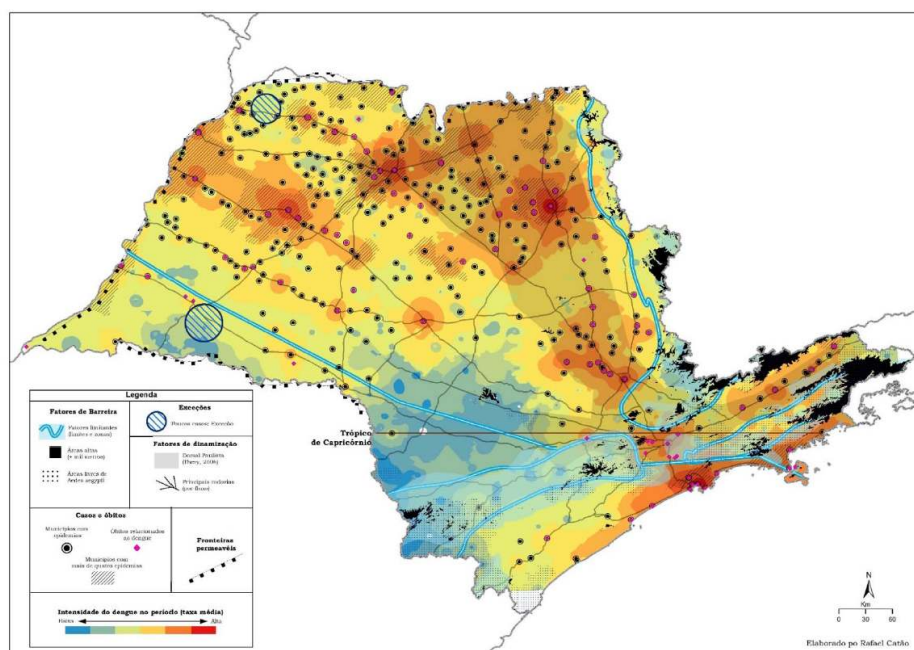
Quadro 2 - Síntese dos dados

	Determinantes	Variável	Fonte	Ano
I Determinantes Socioeconômicos	Demográfico	População por município; População urbana; Densidade demográfica (Hab/Km ²);	IBGE - Censo demográfico	2010
	Saneamento	Porcentagem de Domicílios particulares permanentes com abastecimento de água por Rede geral; Abastecimento de água por poço; Coleta de lixo; Esgotamento sanitário por rede geral; Esgotamento sanitário por fossa séptica (varia até 300% soma das variáveis, cada uma com até 100% cobertura)	IBGE - Censo demográfico	2010
	Economia	Produto Interno Bruto municipal <i>per capita</i>	IBGE – Contas Nacionais	2009
	Fluxo rodoviário	Número médio de veículos por dia	Ministério dos Transportes	2010
II Determinantes Ambientais	Altitude	Modelo Digital de Elevação (1); altitude das sedes municipais (2)	INPE – Topodata/INPE (1) e IBGE (2)	2015
	Temperatura	Classificação climática (NIMER, 1979) e Monteiro (1973)	IBGE, Monteiro (1973)	2002
III Vetor	Infestação	Municípios infestados; Municípios infestados entre 2001-2010; Municípios não infestados	SUCEN-SP	2015
IV Doença no período	Dengue	Somatório de casos de dengue no período (3); Taxa média de incidência de dengue no período (por 100 mil/hab) (3); Óbitos em decorrência da infecção por vírus de dengue – período 2001-2011(4)	CVE-SES-SP (3) e SIM(4)	2015

Fonte: Catão, 2016

- 46 Os dados foram coletados por município e posteriormente inseridos em um software de Sistema de Informação Geográfica (ArcGIS 10.1) e incorporado a malha digital municipal do estado fornecido pelo IBGE, de forma análoga aos mapas de difusão. As fontes estão relacionadas acima juntamente com o ano e o grupo a que fazem parte. Para a elaboração do primeiro mapa sobre os determinantes sociais, em especial, fizemos um mapa analítico para cada variável, utilizando a variação de tamanho para os valores absolutos e variação de valor (escala monocromática) para os dados ponderados e a síntese parcial.
- 47 A partir da elaboração de sínteses parciais, Catão compôs o mapa-síntese, com a tipologia do Dengue no estado de São Paulo (figura 3). Esse mapa nos permite visualizar a influência dos determinantes em cada porção do território bem como a estrutura territorial da doença num período mais amplo.

Figura 3 - Tipologia do Dengue no território paulista, 2012



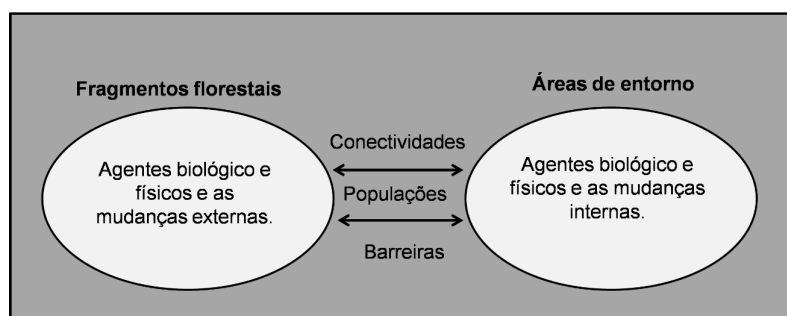
Fonte: Catão, 2016, p. 212

- 48 Esse mapa-síntese ressalta as correlações entre os determinantes da doença e ainda mais quatro estruturas, que são as fronteiras permeáveis, os municípios epidêmicos, frequência alta de epidemias e as áreas de exceção. As fronteiras permeáveis indicam os locais em que provavelmente veio a infestação vetorial para o estado de São Paulo. Os municípios epidêmicos e a recorrência de epidemias (patamar de 300 casos por cem mil habitantes) indicam onde foi atingido esse limite no estado, dando um caráter de seletividade nas áreas mais intensas da doença. Já as exceções indicam áreas que estão em contextos diversos, pois possuem os determinantes para o Dengue, mas os casos ainda estão muito baixos ou não apresentam epidemias, diferenciando-os de seu entorno.
- 49 Podemos visualizar no mapa que as taxas e casos mais altos estão concentrados no litoral e nas regiões norte-noroeste. Apesar do grande número de casos que a capital apresentou, esses ainda são ínfimos em relação ao volume de população dessa cidade, e isso se reflete numa taxa mais baixa e uma grande dúvida, que é a do porquê nessa cidade o Dengue ainda não causou uma epidemia de maiores proporções no período estudado.
- 50 Em relação à ausência de determinantes, notamos que nas áreas mais frias, com altitude mais elevadas e densidades menores, essa doença está presente de maneira mais discreta, com taxas e casos abaixo da média do estado, e em alguns municípios ela não foi registrada. Essas áreas são os contrafortes da Mantiqueira, Ribeira-Alto Paranapanema, Serra da Bocaina/ do Mar. Como esse complexo se constitui de diversos componentes vivos, e, portanto, submetidos a algumas condições mesológicas, o complexo também é limitado pela ausência dos fatores necessários para essa existência, o que foi considerado como uma barreira.
- 51 Outras barreiras seriam compostas também pelas áreas que suportam a existência do vetor e do vírus, mas de forma adversa, não permitindo uma grande interação, em termos quantitativos e qualitativos, com os seres humanos. Essas seriam as barreiras permeáveis, conformando muitas vezes franjas do complexo em determinadas épocas, uma vez que os

casos podem ocorrer, mas sem a mesma intensidade das áreas que não contam com nenhuma contingência severa à densidade e distribuição do vetor

- 52 Enquanto o dengue é um problema de saúde urbano, quando falamos na LTA estamos preocupados com as áreas de zonas rurais do Brasil. A LTA encontra-se em franca difusão espacial no Brasil. É uma enfermidade que vêm apresentando diferentes padrões de transmissão, não estando ligadas somente à penetração dos seres humanos em focos silvestres, mas também em áreas de expansão de fronteiras agrícolas como a atividade canavieira. Isso porque envolve no seu ciclo de transmissão, os seres humanos, o vetor e o hospedeiro. Verifica-se a ocorrência destas doenças em áreas de colonização antiga, e também em novas áreas (FORATTINI, 1992 e BRASIL, 2010).
- 53 Dadas essas características, por se tratar de um doença cujo agente etiológico é um protozoário que tem os remanescentes florestais e áreas rurais como principal fonte de circulação, o complexo patogênico da LTA nos dias de hoje ainda se assemelha ao que foi postulado por Sorre na década de 30 (CASAGRANDE, 2018). Isso porque o núcleo do complexo, constituído pela infecção do organismo humano pelo parasita tem uma forte vinculação com o ambiente silvestre.
- 54 A atuação do ser humano sobre as “áreas naturais” pode levar à degradação, o que influencia negativamente no nicho ecológico dos insetos (FORATTINI, 1973). Isso foi um fato observado na pesquisa de Casagrande (2018), quando foi comparada a distribuição e diversidade de flebotomos em áreas florestadas e área antropizadas. Em sua área de estudo, Casagrande observou um crescimento nas áreas de plantio de monoculturas, o que levou à fragmentação florestal e ao isolamento de pequenos produtores rurais, geralmente, em lotes de assentamentos rurais e em bairros rurais em meio às grandes lavouras (figura 4).
- 55 Algumas espécies de flebotomíneos, principalmente os vetores da LTA, foram beneficiadas com a extinção de espécies que necessitam de habitats mais preservados, e se multiplicaram, apresentando grande abundância e dominância nos pontos de coletas onde foram alterados mais drasticamente pela ação dos seres humanos, por exemplo, , áreas de bordas, assentamentos rurais, pequenos fragmentos florestais, lavouras de monoculturas entre outros usos Os resultados da pesquisa de Casagrande (2018) demonstram que a taxa de abundância do vetor é maior para áreas de confluência de floresta e assentamentos rurais. Já em áreas de manchas de florestas cercadas por áreas agrícolas, monocultura da cana-de-açúcar e pastagens, a abundância vetorial cai. Estes dados associados demonstram que a conectividade dos habitats é importante para manter a diversidade biológica e que as áreas de agricultura com alto nível tecnológico atuam como barreira geográfica.

Figura 4 - Principais elementos do complexo patogênico da LTA na região do Pontal do Paranapanema, estado de São Paulo, Brasil

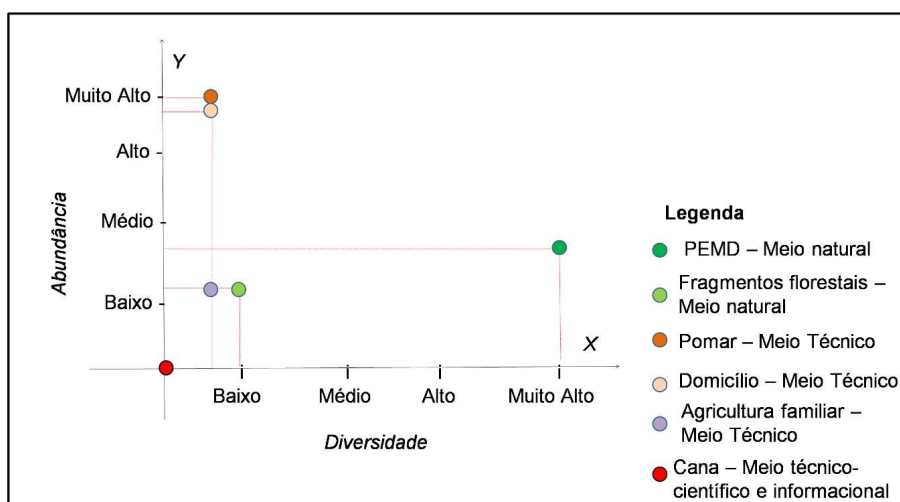


Fonte: Casagrande, 2018

- 56 É possível afirmar, assim, que a atividade do cultivo da lavoura canavieira modificou o perfil epidemiológico da LTA na região do Pontal do Paranapanema. Isso porque a implantação da atividade canavieira dá novos rumos ao modelo de cultivo no campo e isso interfere novamente na dinâmica ecológica desta doença. O modelo de produção do espaço demonstra algo que vai além da aliança da técnica e da ciência, mas que atende à interesses hegemônicos padronizados, ou seja, respeita uma ordem espacial resultante de uma cadeia agroindustrial global que é organizada para atender às necessidades de interesse externos ao lugar e à região. Todas estas mudanças impõem uma lógica de uso do espaço diferente dos processos naturais da região que reverberam em mudanças na vida socioambiental.
- 57 Em vista dessas características, podemos afirmar que o modelo de Complexo Patogênico da LTA em território paulista é um híbrido, no qual coexistem diferentes associações entre os vetores, os seres humanos e os parasitas, sem que se possa tomá-los separadamente (SANTOS, 1996, p. 82). Alguns elementos do modelo clássico cedem lugar, completa ou parcialmente, a outros elementos mais recentes, outras interações entre as atividades humanas, e o ciclo vital das leishmanias resistem às mudanças, tornando o espaço um mosaico de situações de saúde de diferentes períodos. É por isso que Casagrande (2018) relacionou a distribuição espacial de flebótomos, assim como sua diversidade³ e abundância, com a formação, evolução e coexistência de espaços, num acúmulo desigual de tempos demarcados pelo meio natural, meio técnico e meio técnico-científico informacional (figura 5).

- 58 É claro que essa divisão não é tão simples assim, existindo de fato uma sobreposição desses diferentes tipos de meio num mesmo espaço. As áreas de reservas representadas pelo Parque Estadual do Morro do Diabo, por exemplo, fazem parte do meio técnico-científico informacional (afinal, são áreas protegidas). Mas é evidente também que nessa unidade conservação e nas outras que a circundam há o predomínio do meio natural, onde a diversidade dos flebotomíneos é inversamente proporcional à sua abundância.

Figura 5 - Meios geográficos, diversidade e abundância de flebotomos



Fonte: Baltazar Casagrande, 2018.

- 59 Por sua vez, a reemergência do Dengue no Brasil pode ser associada diretamente aos novos tempos. Essa doença se tornou um dos grandes problemas de saúde pública mundial depois da Segunda Grande Guerra, devido a algumas mudanças sociais e demográficas bastante discutidas nas obras de Milton Santos. As principais, dentre elas, são: o avanço técnico dos meios de transportes, o maior fluxo de pessoas e bens, viajando mais rápido entre os continentes e a diferenciação dos circuitos da economia urbana nos países mais pobres. Assim, tal emergência, como um problema de saúde pública mundial, pode ser relacionada com a produção desigual do espaço urbano, principalmente nas cidades do mundo chamado de subdesenvolvido, onde grande parte da população não tem as infraestruturas necessárias para combater essa doença. A saúde pública, nesses países, também é deficitária quanto à prevenção e ao diagnóstico, juntamente com os transportes rápidos e intensos e a grande aglomeração de pessoas, que faz com que a doença se dissemine e se perpetue em vários lugares do mundo.
- 60 As condições locais apenas não explicam a produção de casos de Dengue. Devemos compreender o papel das interações espaciais e da circulação (e manutenção) dos vírus nas redes, urbana e de transporte⁴. Podemos pensar que as cidades infestadas e com transmissão, são os nós dessa rede, em que há um estoque de agentes patogênicos que circulam entre as pessoas por meio de vetores, ou armazenados pela transmissão vetorial. Dependendo de fatores conjunturais (associados aos estruturais), esse volume de vírus pode aumentar bruscamente. Com a fase epidêmica, há um incremento no número de pessoas e vetores infectados em um curto período de tempo, que circulam na rede urbana,

provocando casos importados em áreas infestadas e permitindo que novas transmissões locais ocorram.

- 61 A partir da interação espacial entre as cidades, o aumento no volume de vírus em um determinado espaço urbano, têm maior probabilidade de ser difundido para outras regiões. Nesse aspecto devemos incluir, dentro das interações espaciais, as relações de hierarquia e heterarquia de uma rede urbana, em que as cidades com maior centralidade podem difundir os vírus circulantes nessa escala para todas as cidades, embora as redes de relações sejam mais complexas, envolvendo cidades de portes diferenciados. Isso pode ser considerado uma influência entre contextos geográficos locais, evidenciando as interações. Por isso, algumas vezes fatores determinantes locais, como os conjunturais – aspectos do tempo meteorológico e de número de criadouros – de uma cidade com alta centralidade podem influenciar toda uma rede. Essas situações são mais percebidas na introdução de sorotipos novos (vide o Rio de Janeiro, que tem a capacidade de ‘induzir’ epidemias na escala nacional). Os casos importados, que entendemos como o deslocamento, para outro contexto, do resultado de uma interação patogênica entre vetor infectado e pessoa suscetível, tem influência do contexto onde ocorreu, de onde veio. Podemos pensar ainda os casos importados como a derivação de um contexto geográfico de transmissão para outro, com a possibilidade de reprodução desta transmissão a partir dos agentes patogênicos importados, ou seja, um elo importado.
- 62 Em cidades sem transmissão autóctone um caso importado tem obviamente a conotação de algo exterior ao contexto geográfico local; pois não existem ali os fatores necessários para a transmissão, mas esse caso mostra a inter-relação entre os lugares, ou seja, a interação espacial.
- 63 No Complexo Tecno-patogênico Informacional do Dengue, vemos que os objetos geográficos influenciam tanto no aparecimento de casos, como na circulação das pessoas que transportam consigo os vírus. As cidades e, em escala maior, as áreas pobres e periféricas sem acesso a infraestruturas, vão influenciar na distribuição e manutenção do Dengue, assim como aeroportos, portos, estações ferroviárias, rodoviárias que possuem influência na orientação e intensidade dos fluxos.
- 64 Para o Dengue, a circulação de pessoas infectadas entre áreas infestadas é de suma importância para a manutenção dos vírus na natureza. Um exemplo extremo dessa importância: se nenhuma pessoa se tornar infectada e todos os mosquitos portadores do vírus morrerem, é muito provável que os vírus se extingam. Portanto, movimento de pessoas carregando consigo os vírus entre áreas infestadas de *Aedes aegypti* é de suma importância para a existência da doença.

Considerações finais

- 65 Em vista do exposto no artigo, pensamos que o complexo patogênico formulado por Max Sorre ainda é de grande poder explicativo para a compreensão da distribuição espacial das doenças infecto-contagiosas e parasitárias, mas não é possível simplesmente transpor o modelo pensado na década de 1930 para a análise da situação epidemiológica. Para isto é preciso considerar outras características do mundo contemporâneo que permitem associar outras características aos princípios de localização e de conexão, como os fluxos e a interação espacial que permitem a difusão e a fluidez de patógenos e vetores no interior do complexo, assim como a intensidade (número de casos da doença), a

sazonalidade, as diferenças de natureza (diferenças qualitativas na doença, como as áreas como casos graves e óbitos) e a permanência (estabilidade do complexo em determinadas áreas).

- 66 A reflexão que devemos fazer para analisarmos o movimento de constituição de complexos patogênicos na atualidade, desde sua reemergência, é: o que de fato está sendo difundido? Ou colocando de outra forma: o que nós enquanto geógrafos, estamos analisando quando propomos compreender os processos que levaram a doença a se instalar, a partir de áreas restritas, e ir, aos poucos, aumentando a extensão de sua área de transmissão? Seria somente a difusão dos vetores ou dos patógenos? Quais são os processos, os princípios geográficos e conceitos que devem ser incorporados na teoria dos complexos, para atualizá-los ao tempo presente?
- 67 Para que um caso de uma doença infecto-parasitária ocorra, temos uma série de processos que incidem em tempos, espaços e escalas diferentes, mas que no fim, se unem. Ou seja, a infecção por um vírus ou por um parasita em uma pessoa é o resultado da convergência de diversos processos em um mesmo lugar e tempo. O adoecimento é a parte visível dessa convergência, ela só ocorre se o inseto vetor estiver no mesmo espaço e tempo da pessoa suscetível para aquele agente patógeno.
- 68 Como já ressaltamos, a produção do espaço no período atual difere dos anteriores, na medida em que hoje se utiliza a tecnologia na produção. Por causa disso, houve, e ainda há, no período atual, um enorme acréscimo de objetos geográficos ao solo, modificando-se ainda mais a natureza. Expandindo as fronteiras econômicas e agrícolas, os lugares passam a ser interligados mediante transporte e telecomunicações. A informação, dado fundamental nesse período, passa a circular rapidamente em quase todos os locais do mundo.
- 69 A produção do espaço geográfico nesse período é dada pelos conteúdos técnicos, científicos e informacionais de tal forma que o espaço pode ser chamado de Meio Técnico-Científico-Informacional (SANTOS, 1985; SANTOS e SILVEIRA 2004). Ao utilizarmos esse conceito de Milton Santos, entendemos que a ocorrência e a distribuição de doenças infecto-parasitárias, como o dengue e a LTA, encontram-se intrinsecamente relacionados ao espaço geográfico atual, com sua velocidade, seu grande número de objetos e sua desigualdade. Essas doenças são dotadas de uma seletividade espacial, de uma determinação social, adaptada ao meio atual, e sempre em constante evolução, diferente da situação epidemiológica de cem anos atrás.
- 70 Podemos pensar que a transmissão do dengue e da LTA no estado de São Paulo é a combinação dos processos de difusão do patógeno, dos vetores e das condições sociais e espaciais para que ocorra a infestação e circulação de vírus e parasitas nas áreas infestadas. Desta forma, para se analisar a difusão de doenças infecto-parasitárias, devemos pensar todos esses elementos de forma integrada – vetores (em densidade e dispersos), patógenos, pessoas imunes e suscetíveis, e a presença dos fatores determinantes, além das estratégias de combate e controle.
- 71 A preocupação em compreender a dinâmica de difusão do Complexo Patogênico – dinâmica aqui entendida como um conjunto de processos sincrônicos e diacrônicos que contribuem para a espacialidade e temporalidade atuais – está em germen contida na teoria do complexo patogênico. Afirmar Sorre (1955) que os complexos têm uma dinâmica, eles surgem, evoluem e desintegram-se, contudo, alguns permanecem. Perceber as características que permitem essa dinâmica dos complexos irá, certamente, nos auxiliar

na compreensão da difusão do complexo e de seus componentes em diferentes regiões do Brasil e do globo.

- 72 Para essa análise do complexo devemos incorporar então, além dos princípios do raciocínio geográfico já utilizados por Sorre - de extensão, localização, distribuição e conexão - outros conceitos importantes, como o de intensidade, de sazonalidade e de permanência. Esses são conceitos balizadores da análise do complexo na atualidade e sintetizam a preocupação em se compreender o movimento da doença no espaço e a própria espacialidade da doença no período técnico-científico e informacional.
- 73 A pesquisa foi financiada pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, processos 2012/05913-1 e 2014/17676-0, sem as quais não seria possível a sua realização.

BIBLIOGRAFIA

- Araújo, J. R.; Ferreira E. F.; Abreu, M. H. N. G. Revisão sistemática sobre estudos de espacialização da dengue no Brasil. *Rev. Brasil. de Epidemiologia*, v.11, n.4, p. 696-708, 2008
- Brasil. “Manual de Vigilância da Leishmaniose Tegumentar Americana”. Ministério da Saúde - Secretaria de Vigilância em Saúde. Brasília - DF, (2ª ed), p. 180. 2010.
- Barreto, M. “Epidemiologia, sua história e crises”. IN COSTA, Dina Czeresnia (org.). *Epidemiologia – teoria e objeto*. São Paulo/Rio de Janeiro: Hucitec/Abrasco, 1994.
- Barreto, M. “O espaço e a epidemiologia: entre o conceitual e o pragmático”. *Cadernos Saúde Pública*, v.16, n.3, pp.595-617, 2000.
- Barreto, F.; Teixeira, M. G.; Barreto, M.; Barcellos, C. “Difusão espacial de doenças transmissíveis: uma importante perspectiva de análise epidemiológica a ser resgatada”. In: BARCELLOS, Christovam (Org). *A Geografia e o Contexto dos Problemas de Saúde*. Rio de Janeiro: ABRASCO, 2008. p. 279-299
- Barreto, F; Teixeira, M. G; Costa, M. C. N; Carvalho, M. S; Barreto, M. L. “Spread pattern of the first dengue epidemic in the city of Salvador, Brazil”. *BMC Public health*, v. 08, n. 51, fev, 2008, p. 1-10
- Brunes, J. *Geografia humana*. Rio de Janeiro: Fundo de Cultura, 1962.
- Catão, R. C. *Dengue no Brasil: abordagem geográfica na escala nacional*. São Paulo: Editora da UNESP, 2012.
- Catão, R. C. *Expansão e consolidação do Dengue no estado de São Paulo: Difusão espacial e barreiras geográficas*. Presidente Prudente, Universidade Estadual Paulista, 2016. Tese de doutorado.
- Casagrande, B. *Biogeografia da Saúde: Distribuição espacial dos vetores e o Complexo Patogênico da Leishmaniose Tegumentar Americana*. Presidente Prudente, Universidade Estadual Paulista, 2018. Tese de doutorado.
- Carvalho, J. R. “Pestilências: velhos fantasmas, novas cadeias”. *Saúde e Sociedade*. v. 1, n. 1, São Paulo, Faculdade de Saúde Pública da USP, Associação Paulista de Saúde Pública, 1992.

- Carvalho, J. R. "Biogeografia dos triatomíneos e as cerejeiras da Europa". Revista de Saúde Pública, São Paulo, v. 40, n.6, p.1001-1003, 2006.
- Claval, P. Epistemologia da Geografia. Florianópolis: Editora UFSC, 2014.
- Costa, J. M. L. "Epidemiologia das Leishmanioses no Brasil". Gazeta Médica da Bahia, Salvador, v. 1, p. 3 - 17, Jan - Jun, 2005.
- Cummings, D. A. T; et al. "Travelling waves in the occurrence of dengue haemorrhagic fever in Thailand". Nature, Londres, v. 427, n. 22, jan, 2004, p.344-347
- Curto De Casas, S. "Geografia y salud humana". Buenos Aires, SENOC, 1985.
- Curto De Casas, S. "Geographical inequalities in mortality in Latin America". Social Science in Medicine, v. 36, no. 10, pp. 1349-55.1993.
- Flauzino, R. F.; Souza-Santos, R.; Oliveira, R.. M. Dengue, geoprocessamento e indicadores socioeconômicos e ambientais: um estudo de revisão. Rev Panam Salud Publica, v.25, n.5, p.456-61, 2009.
- Forattini, O. P. "Psychodidae". In: forattini, O. P. Entomologia medica. São Paulo: USP, 1973. p. 213-569.
- Forattini, O. P. Ecologia epidemiologia e sociedade. 1. ed. São Paulo: Artes Médica, v. 1, 1992.
- George, P. Sociologia e geografia. Rio de Janeiro: Editora Forense, 1969.
- Guimarães, R. B. "Do complexo patogênico ao complexo técnico-patogênico informacional". Anais do VI Encontro Nacional. Fortaleza, ANPEGE, 2005.
- Gubler, D. "Dengue and dengue hemorrhagic fever: its history and resurgence as a global health problem". In: GUBLER, Duane; KUNO, Goro (Ed.). Dengue and dengue hemorrhagic fever. New York: CAB International, 1997, p.1-22.
- Gluber, D. "Dengue and Dengue Hemorrhagic Fever". Clinical Microbiology Reviews, Philadelphia, v. 3, n. 11, p. 480-496, jul., 1998.
- Gubler, D. "The Changing epidemiology of yellow fever and dengue, 1900 to 2003: full circle?". Comp. Immun. Microbiol. Infect. Dis., v. 27, p. 319-330, 2004.
- Kuno, G. Review of the factors modulating dengue transmission. Epidemiologic Reviews, Baltimore, v. 17, n. 2, 1995, p. 321-335
- La Blache, P. V. D. Principios de Geografia Humana. Serie C. ed. Lisboa: Comos, v. 1, 1921.
- Lainson, R.; Shaw, J. J. New world leishmaniasis. In: COX, F. E. G. K. J. P. W. D. Microbiology and microbial infections, parasitology. London, Sydney, Auckland: [s.n.], 2005. Cap. 17, p. 313 - 349.
- MOREIRA, R. O pensamento geográfico brasileiro [vol. 1]: as matrizes clássicas originárias. São Paulo: Contexto, 2008
- Moreira, R. Marxismo e geografia: a geograficidade e o diálogo das ontologias. GEOgraphia - Ano. 6 - N I I, 2004, p. 21-37
- Moreno, C. E. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. M&T-Manuales y Tesis SEA, vol. 1. Zaragoza, 84 pp
- Organização Mundial da Saúde. Dengue and Dengue Hemorrhagic Fever, Fact Sheet nº 117. Disponível em: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs117/en/print.html>. Acesso em 22 agosto 2007.

- PAHO. Pan-American Health Organization. Dengue and Dengue Haemorrhagic Fever in the Americas: guidelines for prevention and control. Washington: Pan-American Health Organization. 1997.
- Picheral, H. "Géographie médicale, géographie des maladies, géographie de la santé". *L'espace géographique*, Paris, no. 3, pp. 161-75, 1982.
- Pontes, R. J. S.; Ruffino-Netto, A. "Dengue em localidade urbana da região sudeste do Brasil: aspectos epidemiológicos". *Revista de Saúde Pública*, v.28, n.3, p.218-227, 1994.
- Reithinger, R. et al. "Cutaneous leishmaniasis". *lancet infectious diseases*, v. 7, p. 581 - 596, 2007.
- Samaja, J. "Desafíos a la epidemiología (pasos para una epidemiología "Miltoniana")". *Revista brasileira de epidemiologia*, São Paulo, v. 6, n. 2, 2003.
- Santos, E. S.; Miranda, M. J.; Rezende, K.; Barrozo, L. V. Geografia da Saúde e o complexo patogênico de Max Sorre. In: XVI Encontro Nacional de Geógrafos, 2010, Porto Alegre. *Anais do XVI Encontro Nacional de Geógrafos*, 2010.
- Santos, M. Espaço e Sociedade. 2. ed. Petrópolis: Vozes, 1982.
- Santos, M. Espaço & Método. Coleção Espaços. ed. São Paulo: Nobel, 1985.
- Santos, M. Técnica Espaço Tempo: Globalização e meio técnico-científico informacional. 2. ed. São Paulo: Huicitec, 1996.
- Santos, M. A natureza do espaço. São Paulo: Hucitec, 1997.
- Santos, M. Por uma outra globalização. Rio de Janeiro: Record, 2000.
- Santos, M.; Silveira, M. L. O Brasil: Território e Sociedade no início do Século XXI. 6. ed. Rio de Janeiro : Record, v. 1, 2004.
- Silva, L. J. "O conceito de espaço na epidemiologia". *Caderno de Saúde Pública*, Rio de Janeiro, v. 13, n. 4, p. 585-593, out-dez 1997. SORRE, M. "Complexes pathogènes et géographie médicale". *Annales de Géographie*, Année v.42, n.235. p. 1-18, 1933.
- Sorre, M. Fundamentos biológicos de la Geografía humana. Barcelona: Editorial Juventud, 1955.
- Sorre, M. El hombre en la Tierra. Barcelona: Labor, 1967.
- Tauil, P. L. "Urbanização e ecologia do dengue". *Cadernos de Saúde Pública*, Rio de Janeiro, vol.17, suplemento 1, p.99-102, 2001.
- Verhasselt, Y. "The contribution and future development of spatial epidemiology". *Social Science and Medicine*. Vol. 15, pp. 333-35, 1981.

NOTAS

1. Imanuel Kant (1724-1804), propôs o princípio da Extensão, aperfeiçoado e aplicado por Friederich Ratzel (1844-1904). Alexander von Humboldt (1769-1859), formalizou o princípio da Causalidade.
2. Existiria ainda os complexos rurais, urbanos, industriais.
3. Reflete a coexistência entre espécies, que interagem através da competição no mesmo ambiente e que são influenciados por diferentes fatores. Tem diferentes escalas de abordagens. Portanto, de acordo com a escala utilizada, pode-se distinguir três tipos de diversidade: alfa (α), beta (β) e gama (γ). A diversidade α , ou local, corresponde à

diversidade dentro de um habitat ou comunidade, A diversidade β corresponde à diversidade entre habitats ou outra variação ambiental, serve para medir a composição de espécies e como varia de um lugar para outro e a diversidade γ , ou regional, corresponde à diversidade de uma grande área, bioma, continente, ilha, etc. (MORENO, 2001).

4. Lembrando que em cada pessoa a fase de virulência dura em média sete dias, e nos vetores é diferente, pois o mantém por toda a vida, e algumas vezes podem repassar por meio de transmissão vertical aos seus descendentes.

RESUMOS

No presente artigo iremos refletir a respeito do Estatuto Epistemológico da Geografia da Saúde, sistematizado com base em autores clássicos da disciplina enquanto uma forma específica de pensar os complexos patogênicos da Dengue e da LTA na atualidade. Os complexos patogênicos foram propostos por Sorre na década de 1930, dentro da tradição geográfica francesa, para compreender as relações entre as doenças e o espaço geográfico. Essa teoria foi desenvolvida num período de expansão da sociedade urbano-industrial, e guarda aspectos desse período. Propomos uma releitura desse conceito, pela introdução do raciocínio geográfico atual, nexos contemporâneos do período técnico-científico e informacional, bem como, a compreensão da coexistência de meios geográficos com conteúdos técnicos, científicos e informacionais distintos, modulando a interação entre os elementos do complexo. Essa releitura será exemplificada com o estudo comparativo de dois complexos patogênicos (dengue e LTA) no estado de São Paulo (Brasil), que têm ciclos epidemiológicos distintos e predomínio em meios diferentes, ressaltando o geográfico que embasa os complexos patogênicos.

Dans cet article, nous visons à réfléchir sur le statut épistémologique de la Géographie de la santé, systématisé à la base des classiques de la discipline tandis qu'un mode spécifique de penser le complexe pathogènes actuels de la Dengue et de la Leishmaniose Cutanée Américaine. Sorre a proposé le complexe pathogène dans les années 1930, au sein de l'École de française géographie, pour comprendre les maladies dans l'espace géographique. Cette théorie a été développée dans une phase d'expansion de la société urbaine-industrielle, et garde des aspects de cette phase. Nous proposons une relecture de ce concept, par l'introduction du raisonnement géographique actuel, des liens contemporains de la période technico-scientifique et informationnelle, ainsi que la compréhension de la coexistence de milieux géographiques avec différents contenus techniques, scientifiques et informationnels modulant l'interaction entre les éléments du complexe. Nous illustrerons la relecture avec l'analyse comparative de deux complexes pathogènes (Dengue Fever et leishmaniose cutanée américaine) dans l'Etat de Sao Paulo (Brésil); ils ont les cycles épidémiologiques distingué et la prédominance dans différents milieux géographiques, en soulignant la géographie qui soutient le complexe pathogène.

In the present article we aim to thought about the Geography of Health's Epistemological Status, systematized with the basis of the discipline classical authors while a specific mode to think present dengue fever's and American Cutaneous Leishmaniosis' pathogenic complexes. Sorre proposed the pathogenic complex in 1930s, within the French Geography School, to comprehend the diseases in geographical space. This theory was developed in an expansion phase of urban-industrial society, and keeps aspects of this phase. We propose a rereading of this concept, by the

introduction of the spatial thinking in the infectious-parasitic analysis that are persistent in the present, contemporaneous links of the technical-scientific and information's period, as well, the comprehension of the coexistence of geographical milieus with distinguish technical, scientific and informational contents, modulating the interaction between the elements of the complex. We will exemplify the rereading with the comparative analysis of two pathogenic complexes (Dengue Fever and American Cutaneous Leishmaniosis) in Sao Paulo State (Brazil), which have distinguished epidemiologic cycles and predominance in different geographical milieus, emphasizing the geographical aspect that supports the pathogenic complex.

ÍNDICE

Índice geográfico: Estado de São Paulo

Mots-clés: Complexe Pathogène; Raisonnement Géographique; Fievre Dengue; Leishmaniose Cutanée Américaine; Etat de Sao Paulo

Keywords: Pathogenic Complex; Spatial Thinking; Dengue Fever; American Cutaneous Leishmaniosis; Sao Paulo State

Palavras-chave: Complexo Patogênico; Raciocínio Geográfico; Dengue; Leishmaniose Tegumentar Americana; São Paulo

AUTORES

RAUL BORGES GUIMARÃES

Laboratório de Biogeografia e Geografia da Saúde, Departamento de Geografia, FCT/UNESP, raul@fct.unesp.br

RAFAEL DE CASTRO CATÃO

Núcleo de Medicina Tropical (NMT) da Universidade de Brasília (UnB) e Departamento de Geografia, Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), rafadicaastro@gmail.com

BALTAZAR CASAGRANDE

Laboratório de Biogeografia e Geografia da Saúde, Departamento de Geografia, FCT/UNESP, flebalta2012@gmail.com

Desigualdades na mortalidade infantil no Município de São Paulo: em busca do melhor indicador

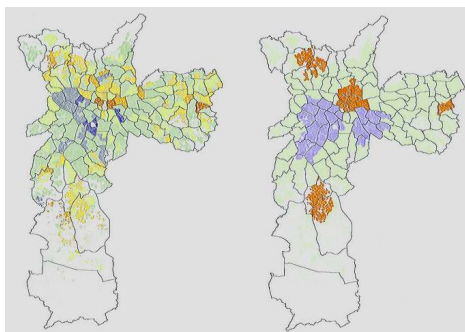
Inégalités dans la mortalité infantile dans la municipalité de São Paulo : à la recherche du meilleur indicateur

Inequalities in infant mortality in the municipality of São Paulo: in search of the best indicator

Ligia Vizeu Barrozo

Introdução

- 1 É estimado que a população global continue crescendo e se estabilize em torno de 11 bilhões de habitantes em 2075 (HANCOCK, 2018). Muito longe das previsões catastróficas para o destino da população humana, Max Roser, economista da University of Oxford, tem trazido grande alento ao mostrar com dados, que apesar de a população ter se multiplicado por sete nos últimos 200 anos, a Humanidade avançou espantosamente neste período, na redução da pobreza, do analfabetismo, da mortalidade infantil, no aumento no número de pessoas que vivem em democracias e na melhora do nível de educação (UNIVERSITY OF OXFORD, 2018). Por outro lado, o ambiente natural tem sofrido grande impacto em seus recursos e biodiversidade – que se traduz em um desafio enorme a ser enfrentado tendo em vista o crescimento esperado e a necessidade da manutenção de recursos para prover esta população.
- 2 A relação entre saúde urbana e pobreza tem merecido atenção desde o final da Primeira Revolução Industrial. A despeito do tempo decorrido, este tópico ainda alimenta um debate fervoroso na literatura. Importantes autores como Michael Marmot, epidemiologista, e Amartya Sen, prêmio Nobel de Economia em 1998, têm debatido a importância da pobreza absoluta e relativa por décadas. A complexidade na quebra do elo entre pobreza e saúde passa por dimensões fora da alçada dos investigadores a quem cabe, no entanto, o dever de identificar e apontar determinantes sociais explicativos de situações de saúde iníquas. A renda tem sido assinalada como um indicador muito limitado para auxiliar nesta tarefa. (MARMOT, 2005). Ao estudar os padrões espaciais de diversas mortalidades entre residentes do município de São Paulo no nível de agregação do Distrito Administrativo, usando um indicador socioambiental modificado a partir do desenvolvido pela Secretaria do Verde e do Meio Ambiente de São Paulo (2004), constatamos que havia um gradiente socioespacial dos riscos relativos que aumentava à medida que piorava o perfil socioambiental (BARROZO; MIRANDA, 2010). Tal gradiente é nítido para diabetes mellitus, doenças cerebrovasculares e pneumonias, embora não seja para outras causas. Existe uma lacuna na saúde que chega a 20 anos de diferença em expectativa de vida observada no espaço intraurbano de São Paulo entre os Distritos Administrativos mais afluentes e os mais pobres, ou seja, a expectativa de vida dos lugares mais ricos vai diminuindo em direção aos lugares mais pobres. Esta lacuna na saúde (ou The Health Gap, como cunhado por MARMOT, 2015) acompanha, grosso modo, o gradiente social. Esta lacuna é também observada nas realidades intraurbanas de Baltimore, Estados Unidos da América, em Glasgow, na Escócia, em Londres, na Inglaterra. Os problemas de saúde dos países de renda média são similares aos dos países de renda alta (MARMOT 2017, p. 1312). Identificar as condições sociais que os explicam pode contribuir para medidas que atuem para a ruptura do elo.
- 3 No nível do indivíduo, as relações entre as condições socioeconômicas e sua saúde são claras: quanto melhor a posição socioeconômica, melhor a saúde (MARMOT, 2007). No nível agregado ou ecológico é possível perceber o papel do lugar, com sua composição populacional, e contexto ambiental e socioeconômico (MEDRONHO et al., 2009) a partir de estudos que consideram o espaço de forma explícita em suas análises. Como do ponto de



vista teórico a renda é insuficiente para explicar completamente os determinantes sociais envolvidos no processo saúde-doença, o presente estudo pretende contribuir para o avanço da compreensão de tais relações a partir da comparação da eficiência da renda e de outros indicadores em explicar a variabilidade espacial de padrões de desfechos em saúde.

- 4 Um aspecto interessante dos indicadores é a escala de análise. Relações observadas em uma escala nem sempre são observadas em outra. Esta diferença de escala acaba gerando controvérsias e debates interessantes sobre relações observadas em alguns lugares, mas não em outros. Não só a escala, mas o recorte geográfico pode alterar as relações encontradas. Além do já amplamente conhecido efeito do Problema da Unidade de Área Modificável, quando, segundo Openshaw e Taylor (1981 apud BRIGGS et al., 2007, p. 451), o uso de diferentes unidades espaciais pode mudar completamente os padrões espaciais aparentes e suas associações, também o recorte geográfico em termos de ampliação da área de estudo pode alterar os resultados de um teste de varredura espacial, entre outros.
- 5 Outro aspecto importante é a evolução do indicador. Os indicadores, em geral, perdem seu poder explicativo das desigualdades quando uma determinada população avança na distribuição da variável medida. Acontece, por exemplo, com o saneamento básico no município de São Paulo. No censo de 2010, a porcentagem média de domicílios com rede geral de esgoto era de 91,7% com mediana de 95,03% (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2011). Este indicador perdeu seu poder explicativo das diferenças em um contexto global do município, felizmente. No entanto, ainda serve como indicador em outras regiões brasileiras, onde o acesso à rede de esgoto ainda não se tornou universal. Será que em um país como o Brasil, classificado como de renda média alta, a renda já é um indicador limitado? Afinal, é possível avançar para além da renda como indicador para as mortalidades no município de São Paulo?
- 6 Assim, este trabalho procurou verificar o quanto o padrão espacial da mortalidade infantil em São Paulo ainda pode ser explicado por indicadores agregados em áreas, em particular, avaliar o poder explicativo da renda como indicador em face de outras dimensões do espaço social urbano. A mortalidade infantil foi escolhida por representar a capacidade de uma sociedade em oferecer condições mínimas para que uma criança nasça e se desenvolva durante o período vulnerável de até um ano, tendo em vista que as condições de habitação, qualidade ambiental do entorno, condições de vida da família, educação sanitária e cuidados de saúde são fundamentais para o bom desenvolvimento de um recém-nascido. Adicionalmente, pode-se avaliar a situação de iniquidades em saúde a partir da distribuição da mortalidade infantil e evidenciar locais de maior vulnerabilidade. A lógica para a definição do melhor indicador passará pela lógica da análise espacial, segundo a qual, o melhor indicador não deverá deixar resíduos espacialmente dependentes em análise de regressão linear espacial. Os resíduos com dependência espacial indicam que ainda existem elementos importantes para explicar a mortalidade infantil que apresentam arranjo espacial e não foram contemplados no modelo.

Delineamento da pesquisa empírica

- 7 Segundo Ferreira (2014, p. 59), as respostas a perguntas espaciais “dependem da relação entre objetos e valores situados em diferentes planos de informação e entre objetos e valores situados em um mesmo plano de informação”. Para que isso ocorra, a abordagem

da Ciência Espacial é a mais apropriada. Os padrões espaciais precisam ser identificados por meios mais eficientes do que o cérebro humano, que naturalmente procura encontrar padrões mesmo quando de fato não ocorrem. Portanto, as distribuições espaciais das taxas precisam ser submetidas a testes estatísticos que permitam a identificação de agrupamentos, por exemplo. Todas as análises subsequentes não podem deixar de considerar a localização dos fenômenos de forma explícita. Assim sendo, delineei um estudo ecológico, transversal que incluiu um período de quatro anos para promover certa estabilidade das taxas, reduzindo flutuações anuais aleatórias, com expressão espacial por meio da implantação de um projeto em um Sistema de Informações Geográficas (ArcGIS 10.1). O desenho deste estudo parte dos padrões espaciais dos óbitos ocorridos em crianças de até um ano de idade residentes do município de São Paulo, de 2006 a 2009, utilizando a unidade geográfica das áreas de ponderação, definidas pelo (IBGE) para o Censo de 2010 (IBGE, 2010). Os riscos relativos da mortalidade infantil por área de ponderação foram obtidos por meio de padronização por sexo e, então, submetidos a uma análise estatística espacial para a identificação de agrupamentos espaciais de alto ou baixo risco.

- 8 De acordo com a hipótese de incapacidade do indicador renda como melhor indicador da mortalidade infantil em São Paulo, outros indicadores foram definidos segundo sua capacidade explicativa potencial de outras dimensões do espectro social, tais como: composição da população por raça ou cor, desigualdade de rendimento (Índice de Gini), segregação residencial (por renda, por cor ou raça e por renda e cor ou raça combinados) e um índice socioeconômico composto. Todos os indicadores foram obtidos a partir dos microdados do Censo Demográfico.
- 9 A etapa seguinte consistiu na elaboração de modelos de regressão linear simples entre a mortalidade infantil e a renda e entre cada um dos demais indicadores.

Unidade geográfica

- 10 A definição da unidade geográfica adequada é crucial para a observação ou não de algumas relações. Desde Yule e Kendall¹ (1950, apud HAYNES e GALE, 2000, p. 276) é conhecida a relação entre o tamanho da área e a força das correlações. Quanto maior a área de agregação, mais fortes as correlações e vice-versa. É por isso que algumas correlações que existem no nível de agregação de países, nem sempre são observadas em unidades menores.
- 11 O município de São Paulo apresentava, em 2010, 18.435 setores censitários e 310 áreas de ponderação IBGE (2011). O setor censitário é a menor entidade geográfica para a qual o Censo Demográfico brasileiro tabula dados censitários decenais. As áreas de ponderação correspondem ao nível geográfico definido para a aplicação de procedimentos estatísticos que permitem o uso de levantamentos amostrais válidos para toda a população. Assim, uma área de ponderação inclui um grupo de setores censitários, respeitando os limites destes. Em São Paulo, a média da população nos setores censitários era de 611 pessoas (desvio padrão = 313) em 2010. Nas unidades das áreas de ponderação, a média da população era de 36.156 pessoas (desvio padrão = 8.577). A variação de 23,7% entre as populações das áreas de ponderação é menos do que a metade da variação nos setores censitários (51,2%), conferindo às áreas de ponderação uma população mais estável e, portanto, mais adequada à análise proposta.

- 12 Quanto à agregação temporal, é importante estabilizar os padrões geográficos para reduzir o número de áreas com número pequeno de casos (PICKLE, 2009). Nesta pesquisa, os dados foram analisados somando-se os óbitos em um período de quatro anos (2006, 2007, 2008 e 2009).

Dados de mortalidade infantil

- 13 Os dados utilizados corresponderam aos óbitos ocorridos em crianças de até um ano de idade entre 2006 e 2009, residentes do município de São Paulo, obtidos do Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (DATASUS). A partir dos endereços das crianças que foram a óbito, os dados foram geocodificados por setor censitário pela Fundação SEADE. Como os dados eram anteriores a 2010, a Fundação SEADE utilizou os setores censitários de 2000 como referência. Por meio da extração dos centroides dos setores de 2000 fiz a equivalência com as áreas de ponderação de 2010. Em relação aos dados, é importante destacar que não tive acesso aos endereços das crianças, mas ao setor censitário ao qual pertenciam. Esta informação agregada não viola a confidencialidade dos dados, mesmo que os resultados sejam representados em uma base dasimétrica. As taxas para as áreas de ponderação foram calculadas por padronização indireta no programa SaTScan (KULLDORFF, 2014), considerando-se o sexo como covariável.

Indicadores

- 14 Como indicadores, além da renda foram definidos os seguintes: desigualdade de rendimento, índice socioeconômico (indicador socioeconômico composto) e segregação residencial (índices de concentração nos extremos). Os indicadores e seus cálculos são descritos a seguir e resumidos no Quadro 1.

Quadro 1 - Indicadores, cálculos e fontes dos dados

Nome do indicador	Sigla/acrônimo	Cálculo	Fonte
Renda	Logrenda	Logaritmo do rendimento bruto mensal médio (V6525 da Planilha Pessoas)	microdados do Censo Demográfico (IBGE, 2011)
Índice composto	INDEXSE	Barrozo <i>et al.</i> (2017)	microdados do Censo Demográfico (IBGE, 2011)

Índices de Concentração nos Extremos	ICErenda (80%-20%/T) ICEcor [(branca-preta)/total] ICEppi [(branca-PPI)/total] ICEedu [(ens. Superior - ens. Fund.)/total] ICErendpr [(branca afluyente - preta pobre)/total] ICErendppi [(branca afluyente - PPI pobre)/total] ICErendbr [(branca afluyente - branca pobre)/total]	$ICE_i = (A_i - P_i) / T_i$, onde A_i : número de pessoas do extremo privilegiado; P_i : número de pessoas do extremo menos privilegiado; T_i : total da população.	microdados do Censo Demográfico (IBGE, 2011)
Índice de desigualdade de renda (Gini)	Gini_rend	$Gini\ local = 1 - \frac{2}{n-1} \left(n - \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{\sum_{i=1}^n x_i} \right)$ y_i : rendimento domiciliar (V6529 da Planilha Pessoas); n : número de valores não ausentes	microdados do Censo Demográfico (IBGE, 2011)

Renda e desigualdade de rendimento

- 15 A informação de renda como indicador correspondeu ao rendimento bruto mensal em todos os trabalhos (V6525 da planilha Pessoas dos microdados), no mês de julho de 2010.
- 16 A desigualdade de renda tem sido associada com desigualdade nos riscos em saúde. Assim, para verificar o poder explicativo da desigualdade de renda, utilizei o Índice de Gini calculado por área de ponderação a partir dos questionários da amostra dos microdados do Censo de 2010. A variável utilizada foi a V6529 (rendimento domiciliar, domicílio particular, em julho de 2010) da planilha Pessoas. O Índice de Gini varia de 0 a 1. Um valor baixo corresponde a uma distribuição mais igualitária (0 corresponde a igualdade completa), enquanto 1 corresponde à desigualdade completa.
- 17 O coeficiente de Gini local foi calculado segundo a equação (1):

$$Gini\ local = 1 - \frac{2}{n-1} \left(n - \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{\sum_{i=1}^n x_i} \right) \dots\dots\dots(1)$$

- 18 Onde,
- 19 y_i são os dados de entrada (rendimento da pessoa i) organizados em ordem decrescente ($y_i \geq y_{i+1}$)

- 20 n é o número de valores não ausentes no conjunto de dados de entrada

Índice Composto

- 21 O índice socioeconômico composto foi desenvolvido com base na metodologia de Lalloué et al. (2013) que usaram análise de componentes principais para a criação de um indicador composto em três regiões metropolitanas francesas: Lille, Lyon e Marseille. O índice socioeconômico (IndexSE) desenvolvido para São Paulo por BARROZO et al. (2017) tem como referência espacial as áreas de ponderação de 2010. Uma revisão bibliográfica direcionou a escolha das variáveis iniciais com base em seu significado para a finalidade de estudo de desigualdade em saúde. Nesta pesquisa, conceitos teóricos de privação foram usados para auxiliar na definição das variáveis (KRIEGER, WILLIAMS e MOSS, 1997; DUNCAN et al., 2002). As variáveis inicialmente escolhidas entre as disponíveis nos microdados do Censo compreenderam 44, de acordo com os seguintes grupos: renda, pobreza, riqueza, educação, privação material e social, aspectos culturais e mobilidade. Após as análises de componentes principais, o índice resultante compreendeu 27 variáveis cobrindo todos os tópicos definidos inicialmente e explica 75,6% da variância.

Índices de Concentração nos Extremos (polarização ou segregação residencial)

- 22 Outra forma de se medir a desigualdade refere-se aos indicadores de concentração nos extremos, desenvolvido por Massey (1996, 2012), que medem a concentração geográfica simultânea de dois grupos. O Índice de Concentração nos Extremos (ICE) tem sido aplicado mais recentemente em estudos de saúde para avaliar os riscos diferenciados de grupos em relação a alguns desfechos e riscos tais como hipertensão, exposição à poluição do ar, prematuridade e mortalidade infantil (FELDMAN et al., 2015; HUYNH et al., 2017; KRIEGER et al., 2014, 2015; KRIEGER et al., 2017).
- 23 Como uma medida de polarização sócio-espacial, o ICE quantifica os extremos dos grupos privilegiados e com privação em uma métrica única e avalia a extensão da concentração da população em um ou outro grupo.

$$ICE_i = \frac{(A_i - P_i)}{T_i} \dots\dots\dots(2)$$

- 24 Ai: número de pessoas categorizadas como pertencendo ao extremo mais privilegiado;
- 25 Pi: número de pessoas categorizadas como pertencentes ao grupo menos privilegiado;
- 26 Ti: total da população na área estudada.
- 27 Assim, o ICE varia de -1 a +1. Quanto mais próximo de -1 ou de +1, maior a polarização no extremo inferior ou superior. O valor 0 representa, portanto, duas possibilidades: ou nenhum dos residentes está na melhor ou pior categoria ou um número igual de pessoas está na melhor ou pior categorias, em ambos os casos, indica que a área não é dominada por concentrações nos extremos de nenhum dos dois grupos (FELDMAN et al., 2015). Huynh et al. (2017) destacam a vantagem do ICE em relação ao comumente utilizado índice de Gini para desigualdade econômica. O ICE indica direção e permite distinguir entre uma área com extrema concentração de baixa renda versus extrema concentração de alta renda (às quais seriam atribuídos os mesmos valores de índice de Gini).
- 28 Foram calculadas sete diferentes medidas de ICE: (1) ICE para renda, para o qual foram estabelecidos os percentis 20 e 80 do rendimento (variável V6529 da planilha Pessoa dos microdados do Censo de 2010), cujos valores são de R\$1.000,00² e R\$5.400,00,

respectivamente³; (2) ICE para raça, estabelecendo como extremos o número de pessoas autodeclaradas da cor ou raça branca e o número de pessoas autodeclaradas da cor ou raça preta; (3) ICE para raça, estabelecendo como extremos o número de pessoas autodeclaradas da cor ou raça branca e o número de pessoas autodeclaradas da cor ou raça preta, parda ou indígena; (4) ICE para educação, estabelecendo como extremos o número de pessoas acima de 25 anos com nível de educação superior e o número de pessoas acima de 25 anos com nível de educação fundamental ou fundamental incompleto (variável V6400 da planilha Pessoa dos microdados do Censo de 2010); (5) ICE para renda e cor ou raça, estabelecendo como extremos o número de pessoas autodeclaradas da cor ou raça branca cujo rendimento era igual ou superior a R\$5.400,00 e o número de pessoas autodeclaradas da cor ou raça preta cujo rendimento era igual ou inferior a R\$1.000,00; (6) ICE para renda e cor ou raça, estabelecendo como extremos o número de pessoas autodeclaradas da cor ou raça branca cujo rendimento era igual ou superior a R\$5.400,00 e o número de pessoas autodeclaradas da cor ou raça branca cujo rendimento era igual ou inferior a R\$1.000,00; (7) ICE para renda e cor ou raça, estabelecendo como extremos o número de pessoas autodeclaradas da cor ou raça branca cujo rendimento era igual ou superior a R\$5.400,00 e o número de pessoas autodeclaradas da cor ou raça preta, parda ou indígena cujo rendimento era igual ou inferior a R\$1.000,00.

- 29 Os índices de concentração nos extremos, assim como os outros indicadores, foram calculados no programa SPSS v.20.

Identificando o melhor indicador

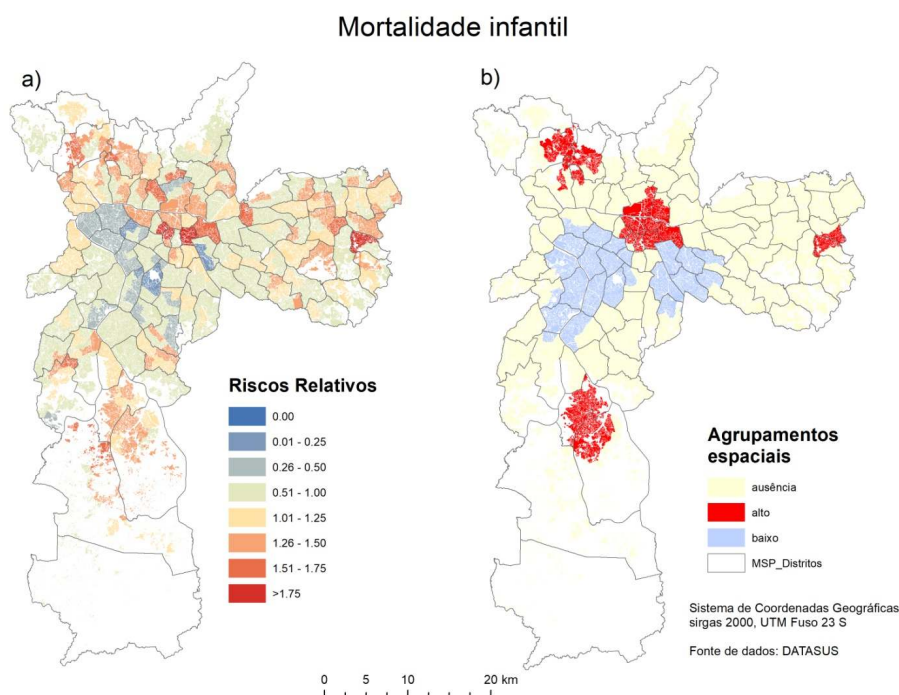
- 30 O primeiro passo para a geração dos modelos foi a análise exploratória dos dados por meio de histogramas e Box-plots. A variável dependente (mortalidade infantil) foi examinada e apresentou distribuição normal. Todas as variáveis (dependente e independentes) foram avaliadas quanto às premissas dos Modelos de Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) (Figueiredo Filho et al., 2011), sem violações. Os modelos foram rodados no programa GeoDaTM (1.12.01, outubro de 2017), seguindo as etapas sugeridas por Anselin (2005).
- 31 O percurso das análises passa pela regressão de Mínimos Quadrados Ordinários e a análise de dependência espacial dos resíduos. Se a dependência espacial ocorrer, a etapa seguinte é verificar se um modelo de regressão espacial global consegue explicar satisfatoriamente as relações estudadas. Os modelos de regressão espacial tentam explicar as relações por meio de uma “média” global para o comportamento estudado, sem considerar a variação local (FOTHERINGHAM, BRUNSDOM e CHARLTON, 2002, p. 25). Neste caso, os resíduos dos modelos não deverão apresentar dependência espacial e outras premissas de normalidade e heteroscedasticidade devem ser respeitadas. Quando estas condições não ocorrem, modelos espaciais locais, tais como os modelos de regressão geograficamente ponderados (Geographically Weighted Regression – GWR) podem melhorar a compreensão das relações, em alguns casos, dramaticamente.
- 32 Os modelos de regressão geograficamente ponderados foram calculados no ArcGIS 10.1, aplicando-se a análise Kernel do tipo “adaptive” e o método de largura de banda AIC (acrônimo de Akaike Information Criterion), a partir do qual o programa encontra o número ótimo de vizinhos. Foram rodados 10 modelos considerando-se os riscos padronizados da mortalidade infantil como variável dependente e cada um dos 10 indicadores como variáveis independentes. Os resultados foram mapeados usando a

representação coroplética do risco observado, risco predito, coeficiente da variável independente, R^2 local e resíduos padronizados para cada modelo. O coeficiente I de Moran foi calculado para todos os mapas de resíduos padronizados para avaliação da dependência espacial. Os melhores modelos foram considerados com base nos critérios de menor AIC⁴ e dependência espacial dos resíduos padronizados não significativa.

Compreendendo as relações entre mortalidade infantil e lugar

- 33 De 2006 a 2009, a taxa média anual de mortalidade infantil foi de 14,14 por mil nascidos vivos. Em termos absolutos, 8.074 crianças foram a óbito. Em termos de distribuição espacial das taxas nas áreas de ponderação, 229 apresentaram taxa estatisticamente não diferente da média do Município, 49 apresentaram baixo risco e 33, risco alto (Figuras 1a e 1b). A distribuição espacial revela locais de alto risco em expressiva área central e nos extremos norte, sul e leste do Município (Figura 1b). Como referência, neste período a taxa de mortalidade do Brasil era de 20,89 por mil nascidos vivos e no mundo todo, 49,4 (variando de 2,16 em Singapura a 116,97, em Serra Leoa) (UNITED NATIONS, 2015).
- 34 Outro estudo em São Paulo já havia mostrado a tendência espacial das taxas para as principais causas de mortalidade para o ano de 1999 para a unidade espacial dos distritos e subdistritos de paz ou distritos administrativos (DRUMOND Jr., 2002). A taxa média de mortalidade infantil do Município era de 16,3 por mil nascidos vivos variando de 5 por mil na melhor condição socioeconômica a 28,6, na pior.

Figura 1 – Distribuição espacial da mortalidade infantil ocorrida entre residentes do Município de São Paulo, de 2006 a 2009, segundo área de ponderação, sobreposta pelo Distrito Administrativo. a) Riscos relativos e b) Agrupamentos espaciais



Fontes: Cartografia: IBGE (2010), Barrozo et al. (2015); Dados de mortalidade: DATASUS; Dados de população: IBGE (2010).

- 35 A busca de artigos indexados usando as palavras “spatial analysis infant mortality brazil” retornou 48 artigos indexados na base PUBMED⁵. As causas de mortalidade infantil abrangeram um espectro amplo, incluindo: tuberculose, helmintíase, leishmaniose visceral, neurocisticercose, hanseníase, homicídios, diarreia e mal formação congênita. As escalas de análise variaram de estado, região a município. Na busca realizada na base SciELO⁶ foram encontrados apenas cinco artigos: um no Município do Rio de Janeiro (d’ORSI e CARVALHO, 1998), um em Porto Alegre (SHIMAKURA et al., 2001), identificação de áreas de risco no Município de Goiânia (NETO et al., 2001), sobre o padrão espacial em Belo Horizonte (MALTA et al., 2001) e sobre as relações com condições de vida em Salvador (COSTA et al., 2001). Entre os artigos sobre o tema destaca-se o de Szwarcwald, Andrade e Bastos (2002) que avaliaram o efeito da concentração residencial da pobreza na mortalidade infantil no município do Rio de Janeiro. Os autores concluíram que propriedades do ambiente residencial contextualmente influenciavam a saúde. No entanto, a abordagem adotada calcula a relação por meio do coeficiente de Pearson de forma global sem considerar a heterogeneidade espacial nas correlações e o espaço não é incluído de forma explícita. Pela possível contribuição de estudos neste tema à compreensão do papel do lugar, à gestão da qualidade dos serviços de saúde e das condições socioeconômicas da população vulnerável, ainda existem muitas lacunas a serem preenchidas a partir de uma abordagem espacial.
- 36 O presente estudo não permite inferir relações causais. Contudo, seu delineamento admite a verificação do papel do lugar na explicação dos padrões espaciais da mortalidade estudada. A segregação por renda e cor ou raça preta, parda e indígena (ICERendppi) é o indicador que melhor explica a mortalidade infantil em São Paulo entre os outros indicadores analisados (Tabela 1). Uma diferença de três pontos entre AICs entre modelos de regressão já permite afirmar que o modelo com a pontuação menor é o mais explicativo (ANSELIN, 2005). O coeficiente I de Moran para os resíduos deste modelo geograficamente ponderado não é estatisticamente significativo ($p=0,15$), indicando que não existem resíduos espaciais que ainda precisam ser explicados. Para mortalidade infantil a segregação por renda e cor ou raça explica cerca de 40% da variabilidade espacial do risco no município.
- 37 E a renda como indicador? O indicador renda (seu log foi utilizado) apresentou resíduos com padrão espacial significativo, indicando que não consegue explicar completamente a variabilidade espacial da mortalidade infantil. Ainda falta algum componente espacial a ser incorporado. O IndexSE tem um desempenho muito superior, apesar da sua alta correlação com a renda. O R^2 da renda foi de 0,24 (AIC 108,68) e resíduos com dependência espacial. O IndexSE teve R^2 de 0,36 (AIC 72,91) sem dependência espacial nos resíduos. Sem sombra de dúvida, o ICERendppi é o indicador mais explicativo ($R^2 = 0,39$, AIC = 59,28) sem dependência espacial nos resíduos e AIC muito inferior aos demais. Assim, usar a renda para explicar a variabilidade espacial da mortalidade infantil implicaria em simplificação considerável.

Tabela 1 – Risco relativo de mortalidade infantil: resultados dos modelos de Mínimos Quadrados Ordinários (OLS) e modelos de regressão geograficamente ponderados (GWR) – valores de R² global ajustado, coeficiente β , valor de p para o modelo OLS, valor de Akaike Criterion Information (AIC), coeficiente I de Moran para os resíduos padronizados e significância do coeficiente I (valor p).

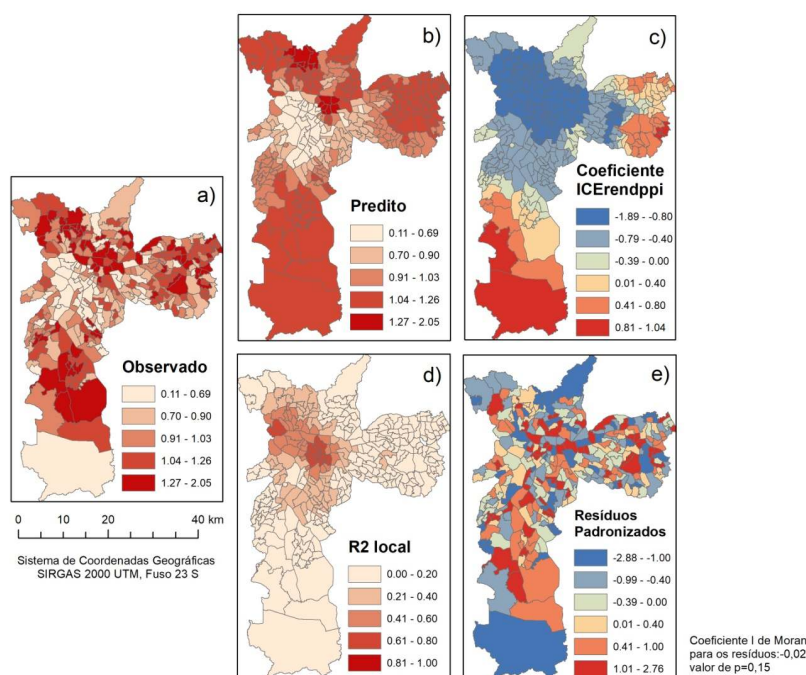
Indicador	Modelos	R ² aj	Coef, β	Valor p	AIC	Moran	Valor p
Logrenda	OLS	0,21	-0,53	0,00	119,16	0,14	0,00
	GWR	0,24			108,68	0,04	0,00
INDEXSE	OLS	0,18	-0,03	0,00	129,70	0,16	0,00
	GWR	0,36			72,91	-0,03	0,12
ICErenda	OLS	0,21	-0,54	0,00	118,69	0,16	0,00
	GWR	0,37			66,37	-0,02	0,15
ICEcor	OLS	0,19	-0,78	0,00	127,80	0,17	0,00
	GWR	0,38			62,38	-0,02	0,24
ICEppi	OLS	0,18	-0,42	0,00	132,07	0,17	0,00
	GWR	0,38			63,77	-0,02	0,21
ICEedu	OLS	0,21	-0,50	0,00	119,59	0,15	0,00
	GWR	0,34			84,11	-0,02	0,16
ICErendpr	OLS	0,13	-0,69	0,00	147,47	0,15	0,00
	GWR	0,36			89,12	-0,03	0,08
ICErendppi	OLS	0,23	-0,66	0,00	111,10	0,15	0,00
	GWR	0,39			59,28	-0,02	0,15
ICErendbr	OLS	0,26	-0,81	0,00	100,94	0,15	0,00
	GWR	0,37			63,10	-0,02	0,39
Gini_rend	OLS	0,07	-1,43	0,00	170,02	0,19	0,00
	GWR	0,22			131,07	0,00	0,69

Logrenda: logaritmo do rendimento médio mensal; INDEXSE: indicador socioeconômico composto; ICErenda: índice de concentração nos extremos por renda; ICEcor: índice de concentração nos extremos por cor ou raça; ICEppi: índice de concentração nos extremos por cor ou raça branca sobre cor ou raça preta, parda e indígena; ICEedu: índice de concentração nos extremos por educação (nível superior sobre nível fundamental completo ou incompleto); ICErendpr: índice de concentração nos extremos por renda e cor (pessoas brancas ricas sobre pessoas pretas pobres); ICErendppi: índice de concentração nos extremos por renda e cor (pessoas brancas ricas sobre pessoas pretas, pardas e indígenas pobres); ICErendbr: índice de concentração nos extremos por renda e cor (pessoas brancas ricas sobre pessoas brancas pobres); Gini_rend: Índice de Gini do rendimento domiciliar.

- 38 A segregação residencial econômico-racial para mortalidade infantil atua em dois sentidos contrários. A segregação da população branca rica tem relação com o menor risco de mortalidade infantil (coeficientes negativos em tons azuis na Figura 2c) e a segregação da população PPI pobre tem relação com o aumento do risco (coeficientes positivos em tons de laranja na Figura 2c) nos extremos sul e leste, menos no norte.
- 39 O agrupamento do centro histórico do município pode ter raízes em condições de moradias precárias e insalubres, como cortiços e prédios ocupados, e a vulnerabilidade socioeconômica de grupos de imigrantes, como os vindos da Bolívia, moradores da área conhecida como Cracolândia e outros grupos.
- 40 Wilkinson e Pickett (2006) conduziram uma revisão de 155 estudos sobre a associação entre distribuição de renda e saúde. Os estudos foram classificados segundo suporte que davam à hipótese de que maiores diferenças de renda estavam associadas com padrões mais baixos de saúde. A grande maioria dos estudos (70%) sugeria que a saúde era pior em sociedades onde as diferenças de renda eram maiores. Para Wilkinson e Pickett (2006), os

estudos realizados em áreas grandes (internacionais ou regionais em um país) eram mais favoráveis à hipótese porque a desigualdade de renda neste contexto serviria como uma medida da escala da estratificação social ou de sua hierarquia. Em áreas pequenas, a desigualdade de renda seria afetada pelo grau de segregação residencial dos ricos e pobres. A saúde das pessoas em bairros com privação seria pior não por causa da desigualdade dentro do bairro, mas porque estas pessoas estariam segregadas em relação à sociedade. Neste sentido, os resultados do presente estudo em relação à medida de desigualdade contribui para a compreensão de que a desigualdade de renda que ocorre no nível das áreas de ponderação (pequenas áreas) explica pouco a mortalidade estudada ($R^2=0,22$, AIC = 131,07). Não é a desigualdade de renda dentro da área de ponderação a melhor variável explicativa em São Paulo, mas a concentração de renda associada à cor ou raça, como já foi mencionado. A componente cor ou raça é imprescindível nesse caso.

Figura 2 – Resultados do modelo de regressão geograficamente ponderado para mortalidade infantil: a) risco relativo observado, b) valores preditos do risco relativo, c) coeficientes da variável explanatória (ICErendppi), d) valores do R^2 local do modelo e, e) resíduos padronizados e teste de dependência espacial (I de Moran).



Fontes: Cartografia: IBGE (2010); Dados de cor ou raça e renda: IBGE (2010).

- 41 Em geral, os lugares de melhores condições de infraestrutura e acesso aos serviços de saúde podem trazer benefício à saúde de populações mais vulneráveis. Não é o que se observa no centro histórico de São Paulo em relação à mortalidade infantil. O agrupamento espacial de alto risco contesta a relativa vantagem de grupos vulneráveis ao residirem em áreas com infraestrutura consolidada, melhores oportunidades de emprego ou trabalho informal e indicadores socioeconômicos relativamente satisfatórios. Ainda em termos especulativos, pois não tive acesso aos dados individuais de mortalidade e estes não apresentam detalhes importantes sobre as condições socioeconômicas de quem foi a óbito, a provável grande privação de indivíduos que habitam o centro de São Paulo parece não lhes permitir auferir as vantagens potenciais que o lugar oferece em relação aos bairros periféricos. Neste caso, a privação absoluta atual (baixos rendimentos e

condições inadequadas de moradia) aliada à privação de toda uma vida subjugariam os benefícios do efeito do lugar. A questão central dessas populações vulneráveis parece ser a da sobrevivência.

- 42 Segundo Allik et al. (2016) as medidas de censos demográficos são as melhores para serem usadas por permitirem comparações entre países e ao longo do tempo. Para São Paulo, o indicador desenvolvido não aponta apenas a privação material. Ele contempla um panorama mais amplo que inclui os sete grupos pretendidos, como descrito na metodologia.
- 43 Recente estudo conduzido no estado de Massachussets, Estados Unidos da América, analisou os latrocínios e assaltos não fatais em duas escalas de agregação para verificar se medidas locais permitiriam observar associações mais fortes com a segregação residencial (KRIEGER et al., 2017). Os resultados obtidos permitiram concluir que estudos sobre segregação e saúde devem usar medidas locais e incluir a segregação econômico-racial para evitar a subestimação do impacto adverso da segregação na saúde. A combinação entre dados de cor ou raça e renda, em geral, permite detectar gradientes sociais mais nítidos do que os obtidos por taxa de pobreza e concentração de renda apenas. Resultados semelhantes foram encontrados em Boston e Nova Iorque. O presente estudo conduzido em São Paulo parece trazer contribuição às relações entre segregação e saúde para as grandes cidades latino-americanas. Assim como observado por Krieger et al. (2017), estudos como estes permitem o questionamento sobre a representatividade política das minorias desfavorecidas socialmente na esfera local.
- 44 A utilização do ICE para renda combinado com a raça ou cor permitiu verificar associação mais forte com a mortalidade estudada do que a renda ou raça ou cor separadamente, assim como o observado por Feldman et al. (2015, p. 1203) nos Estados Unidos, ao estudarem hipertensão. Para Sabatini (2006), segregação residencial seria um fenômeno e não um problema em si. Durante o processo de assimilação em uma cidade multiétnica, a segregação apresenta também um lado positivo na formação da identidade social. A confiança é um importante capital social com um forte conteúdo comunitário. Mesmo nas cidades latino-americanas, onde a segregação residencial relaciona-se mais à questão socioeconômica do que à racial em comparação à norte-americana, as pessoas procuram morar próximas a outras pessoas com as quais compartilham identidades culturais. Por outro lado, a segregação residencial se tornaria negativa quando excede “a escala de alcance a pé” e limitaria as opções de interação física entre classes sociais, levando à desintegração dos pobres. Esta segregação não seria voluntária, pois esta classe seria excluída de certos bairros e áreas da cidade. Quando há concentração de bairros pobres circundados por bairros pobres atingindo uma vasta área geográfica potencializam as consequências negativas da pobreza. Os problemas sociais decorrentes incluiriam baixo desempenho escolar, desemprego, gravidez na adolescência e casas de pessoas jovens que não trabalham ou estudam e mais vulneráveis a cair em problemas de dependência de drogas e delinquência, como observado em cidades chilenas por Sabatini et al.⁷ (2001 apud SABATINI, 2006). É neste ponto que a segregação residencial atua de forma muito negativa no município de São Paulo, onde o mesmo panorama pode ser observado. Segundo Moraes e Costa (1987) a segregação espacial é desencadeada por mecanismos de valorização do solo urbano e de autosegregação, produzindo fortes diferenciais intraurbanos marcados por desigualdades sociais. Adicionalmente, a segregação intensifica efeitos psicossociais que envolvem insegurança, ansiedade, isolamento social, ambientes socialmente perigosos, bullying e depressão que afetam a saúde (MARMOT,

2001). A violência relacionada à segregação em São Paulo e outras cidades capitais de Regiões Metropolitanas brasileiras tem levado a uma situação generalizada de insegurança e seus efeitos psicossociais a toda população.

- 45 O programa de transferência de renda com a obrigatoriedade de matrícula de crianças na escola (Bolsa Família) tem se mostrado efetivo para a redução da pobreza e consequente melhora da saúde, por meio da redução da desigualdade. Rasella et al. (2013) observaram que a taxa de mortalidade global entre menores de cinco anos e as taxas por causas relacionadas à pobreza, tais como diarreia e desnutrição, diminuíram à medida que a cobertura do Programa Bolsa Família aumentou no Brasil, considerando o período de 2004 a 2009, em escala municipal. Nery et al. (2014) constataram redução da taxa de detecção da hanseníase no Brasil no período de 2004 a 2011 associada com o aumento da cobertura do Programa Bolsa Família, ao mesmo tempo em que o Programa Saúde da Família demonstrou eficiência em detectar novos casos da doença. Evidências na redução da incidência de tuberculose também foram encontradas por Nery et al. (2017).

Considerações finais

- 46 A busca por equidade na saúde das populações em países de grandes disparidades socioeconômicas é um desafio permanente que deve ser perseguido a partir de sólidas evidências empíricas. Os resultados encontrados aqui permitem evidenciar injustiças espaciais na mortalidade infantil. No entanto, não avaliei diretamente a qualidade do lugar em relação à distribuição e qualidade dos serviços de saúde. Estes estão diretamente ligados ao atendimento aos partos, cujas complicações constituem importante causa de mortalidade neonatal.
- 47 As evidências robustas sobre os determinantes sociais que atuam localmente podem auxiliar na implementação de intervenções que contribuam para a ruptura dos mecanismos biológicos causadores da situação de doença. Também permitem verificar que os riscos da mortalidade estudada são diferentes no município de São Paulo, não sendo possível uma explicação global, não sendo possível uma explicação global, já que a configuração dos lugares gera processos que atuam localmente. Há uma heterogeneidade na periferia que foi captada localmente. No entanto, o delineamento deste estudo não possibilita a compreensão se o lugar é o determinante do diferencial de mortalidade infantil ou se é a exclusão social que leva à segregação de determinados grupos sociais em locais insalubres, com pouco acesso aos serviços de saúde.
- 48 Vale destacar que a utilização de modelos geograficamente ponderados é inovadora para identificar o indicador mais explicativo tanto na literatura geográfica quanto na epidemiológica. Para além da mortalidade infantil, o delineamento de estudo adotado permite avaliar a importância local do contexto socioeconômico nos desfechos em saúde para subsidiar políticas públicas potencialmente redutoras de desigualdades.
- 49 O indicador socioeconômico proposto deverá ser aprimorado em função dos resultados aqui obtidos com a inclusão de variáveis de segregação residencial (ICEs) e desigualdade de rendimento (Índice de Gini). Trabalho futuro deverá avaliar as dimensões do acesso e qualidade dos serviços de saúde e da violência urbana, o que permitirá verificar a contribuição local destes indicadores, de forma independente e conjunta.
- 50 À Fundação SEADE (Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados) pela disponibilidade dos dados de mortalidade. A Wellington Araújo Nogueira, analista de dados (Big Data

Analytics) e Máira Coube Salmen, do Hospital Israelita Albert Einstein, por viabilizarem o cálculo do Índice de Gini por área de ponderação. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), processo número 301550/2017-4.

BIBLIOGRAFIA

- Anselin, L. Exploring spatial data with GeoDaTM: a workbook Urbana, 2004. . Disponível em: <<http://www2.geog.ucl.ac.uk/~jessletzbichler/GEOG2003/geodaworkbook.pdf>>. Acesso em: 25 jan. 2012.
- Anselin, L. Spatial Regression Analysis in R A Workbook Urbana, 2005. . Disponível em: <http://www.drs.wisc.edu/documents/articles/curtis/cesoc977-11/W15_Anselin2007.pdf>. Acesso em: 25 jan. 2012.
- Barrozo, L. V.; André, C. D. S.; Rodrigues, G. P.; Cabral-Miranda, W. Development of a new socioeconomic index for health research in Brazil: first approach. In: 14th International Conference on Urban Health: the New Urban Agenda and Sustainable Development Goals, Coimbra. Anais... Coimbra: 2017.
- Barrozo, L. V.; Pérez-Machado, R. P.; Small, C.; Cabral-Miranda, W. Changing spatial perception: dasymetric mapping to improve analysis of health outcomes in a megacity. *Journal of Maps*, v. 5647, n. October, p. 1-6, 22 out. 2015. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/17445647.2015.1101403>>.
- Barrozo, L. V.; Miranda, M. J. Geografia da mortalidade em São Paulo. In: Saldiva, P. et al. (Ed.). *Meio Ambiente e Saúde: o Desafio das Metrópoles*. São Paulo: Ex-Libris Comunicação Integrada, 2010. p. 172-185.
- Briggs, D.; Gulliver, J.; Fecht, D.; Vienneau, D. M. Dasymetric modelling of small-area population distribution using land cover and light emissions data. *Remote Sensing of Environment*, v. 108, n. 4, p. 451-466.
- Costa, M. Da C. N.; Azi, P. De A.; Paim, J. S.; Silva, L. M. V. da. Mortalidade infantil e condições de vida: a reprodução das desigualdades sociais em saúde na década de 90. *Cadernos de Saúde Pública*, v. 17, n. 3, p. 555-567, jun. 2001. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-311X2001000300011&lng=pt&tlng=pt>.
- D'Orsi, E.; Carvalho, M. S. Perfil de nascimentos no Município do Rio de Janeiro: uma análise espacial. *Cadernos de Saúde Pública*, v. 14, n. 2, p. 367-379, abr. 1998. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-311X1998000200013&lng=pt&tlng=pt>.
- Drumond Jr., M. *Vida e Morte em São Paulo*. São Paulo: Ed. Brasiliense, 2002.
- Duncan, G. J.; Daly, M. C.; Mcdonough, P.; Williams, D. R. Optimal Indicators of Socioeconomic Status for Health Research. *American Journal of Public Health*, v. 92, n. 7, p. 1151-1157, 2002.
- Feldman, J. M.; Waterman, P. D.; Coull, B. A.; Krieger, N. Spatial social polarisation: using the Index of Concentration at the Extremes jointly for income and race/ethnicity to analyse risk of hypertension. *Journal of Epidemiology and Community Health*, v. 69, n. 12, p. 1199-1207, dez. 2015. Disponível em: <<http://jech.bmj.com/lookup/doi/10.1136/jech-2015-205728>>.

- Ferreira, M. C. Iniciação à análise geoespacial. São Paulo: Editora UNESP, 2014.
- Fotheringham, A. S.; Brunsdom, C.; Charlton, M. Geographically Weighted Regression: the analysis of spatially varying relationships. West Sussex: John Wiley & Sons Ltd., 2002.
- Hancock, J. R. Os gráficos que mostram o avanço espetacular da humanidade nos últimos dois séculos. El País, 2018. Disponível em: <https://brasil.elpais.com/brasil/2018/01/23/actualidad/1516705169_487110.html>.
- Huynh, M.; Spasojevic, J.; Li, W.; Maduro, G.; Van Wye, G.; Waterman, P. D.; Krieger, N. Spatial social polarization and birth outcomes: preterm birth and infant mortality – New York City, 2010–14. *Scandinavian Journal of Public Health*, p. 1–10, 6 abr. 2017. Disponível em: <<http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1403494817701566>>.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Base de informações do Censo Demográfico 2010: Resultados do Universo por Setor Censitário. Rio de Janeiro, RJ: Centro de Documentação e Disseminação de Informações, 2011.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Notas metodológicas do Censo Demográfico 2010. Rio de Janeiro, RJ: Centro de Documentação e Disseminação de Informações, 2010.
- Krieger, N.; Feldman, J. M.; Waterman, P. D.; Chen, J. T.; Coull, B. A.; Hemenway, D. Local Residential Segregation Matters: Stronger Association of Census Tract Compared to Conventional City-Level Measures with Fatal and Non-Fatal Assaults (Total and Firearm Related), Using the Index of Concentration at the Extremes (ICE) for Racial, Econ. *Journal of Urban Health*, v. 94, n. 2, p. 244–258, 27 abr. 2017. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s11524-016-0116-z>>.
- Krieger, N.; Waterman, P. D.; Gryparis, A.; Coull, B. A. Black carbon exposure more strongly associated with census tract poverty compared to household income among US black, white, and Latino working class adults in Boston, MA (2003–2010). *Environmental Pollution*, v. 190, p. 36–42, jul. 2014. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0269749114001067>>.
- Krieger, N.; Waterman, P. D.; Gryparis, A.; Coull, B. A. Black carbon exposure, socioeconomic and racial/ethnic spatial polarization, and the Index of Concentration at the Extremes (ICE). *Health & Place*, v. 34, p. 215–228, jul. 2015. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S135382921500074X>>.
- Krieger, N.; Williams, D. R.; Moss, N. E. Measuring social class in US public health research: concepts, methodologies, and guidelines. *Annu Rev Public Health*, v. 18, p. 341–378, 1997.
- Kulldorff, M. SaTScan User Guide for version 9.3. 2014. Disponível em: <<http://www.satscan.org/>>.
- Lalloué, B.; Monnez, J.-M.; Padilla, C.; Kihal, W.; Le Meur, N.; Zmirou-Navier, D.; Deguen, S. A statistical procedure to create a neighborhood socioeconomic index for health inequalities analysis. *International Journal for Equity in Health*, v. 12, n. 21, p. 1–11, 2013.
- Malta, D. C.; Almeida, M. C. De M.; Dias, M. A. De S.; Merhy, E. E. A mortalidade infantil em Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, por área de abrangência dos Centros de Saúde (1994-1996). *Cadernos de Saúde Pública*, v. 17, n. 5, p. 1189–1198, out. 2001. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-311X2001000500019&lng=pt&tlng=pt>.
- Marmot, M. Psychosocial and material pathways in the relation between income and health: a response to Lynch et al. *BMJ*, v. 322, n. 7296, p. 1233–1236, 19 maio 2001. Disponível em: <<http://www.bmj.com/cgi/doi/10.1136/bmj.322.7296.1233>>.
- Marmot, M. Social determinants of health inequalities. *The Lancet*, v. 365, n. 19, p. 1099–1104, 2005.

- Marmot, M. Brazil: rapid progress and the challenge of inequality. *International Journal for Equity in Health*, v. 15, n. 1, p. 177, 17 dez. 2016. Disponível em: <<http://equityhealth.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12939-016-0465-y>>.
- Marmot, M. Achieving health equity: from root causes to fair outcomes. *The Lancet*, v.370, n. 9593, p. 1153-1163, 2007. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(07\)61385-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(07)61385-3)
- Marmot, M. The Health Gap: The Challenge of an Unequal World: the argument. *International Journal of Epidemiology*, v. 46, n. 4, p. 1312-1318, 1 ago. 2017. Disponível em: <<http://academic.oup.com/ije/article/46/4/1312/4102087/The-Health-Gap-The-Challenge-of-an-Unequal-World>>.
- Massey, D. S. The age of extremes: concentrated affluence and poverty in the twenty-first century. *Demography*, v. 33, p. 395-412, 1996.
- Massey, D. S. Reflections on the dimensions of segregation. *Social Forces*, v. 91, p. 39-43, 2012.
- Medronho, R. A., Bloch, K. V., Luiz, R. R., & Werneck, G. L. *Epidemiologia*. 2ª. Ed. São Paulo: Atheneu, 2009.
- Moraes, A. C. R.; Costa, W. M. *Geografia e crítica: a valorização do espaço*. 2ed. ed. São Paulo: Hucitec, 1987.
- Nery, J. S.; Pereira, S. M.; Rasella, D.; Penna, M. L. F.; Aquino, R.; Rodrigues, L. C.; Barreto, M. L.; Penna, G. O. Effect of the Brazilian Conditional Cash Transfer and Primary Health Care Programs on the New Case Detection Rate of Leprosy. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, v. 8, n. 11, p. e3357, 20 nov. 2014. Disponível em: <<http://dx.plos.org/10.1371/journal.pntd.0003357>>.
- Nery, J. S.; Rodrigues, L. C.; Rasella, D.; Aquino, R.; Barreira, D.; Torrens, A. W.; Boccia, D.; Penna, G. O.; Penna, M. L. F.; Barreto, M. L.; Pereira, S. M. Effect of Brazil's conditional cash transfer programme on tuberculosis incidence. *The International Journal of Tuberculosis and Lung Disease*, v. 21, n. 7, p. 790-796, 1 jul. 2017. Disponível em: <<http://www.ingentaconnect.com/content/10.5588/ijtld.16.0599>>.
- Neto, O. L.; Barros, M. B.; Martelli, C. M.; Silva, S. A.; Cavenaghi, S. M.; Siqueira, J. B. J. [Differential patterns of neonatal and post-neonatal mortality rates in Goiania, Brazil, 1992-1996: use of spatial analysis to identify high-risk areas]. *Cadernos de Saúde Pública*, v. 17, n. 5, p. 1241-1250, 2001.
- Pickle, L. W. A history and critique of U.S. mortality atlases. *Spatial and Spatio-temporal Epidemiology*, v. 1, n. 1, p. 3-17, out. 2009. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1877584509000057>>. Acesso em: 24 set. 2011.
- Rasella, D.; Aquino, R.; Santos, C. A. T.; Paes-Sousa, R.; Barreto, M. L. Effect of a conditional cash transfer programme on childhood mortality: a nationwide analysis of Brazilian municipalities. *The Lancet*, v. 382, n. 9886, p. 57-64, jul. 2013. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0140673613607151>>.
- Sabatini, F. *The Social Spatial Segregation in the Cities of Latin America*. [s.l.: s.n.].
- Secretaria do Verde e do Meio Ambiente de São Paulo. *O Verde, o Território, o Ser Humano: diagnóstico e bases para a definição de Políticas Públicas para as Áreas Verdes no Município de São Paulo*. [s.l.: s.n.].
- Shimakura, S. E.; Carvalho, M. S.; Aerts, D. R. G. C.; Flores, R. Distribuição espacial do risco: modelagem da mortalidade infantil em Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil. *Cadernos de Saúde Pública*, v. 17, n. 5, p. 1251-1261, out. 2001. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-311X2001000500025&lng=pt&tlng=pt>.

Szwarcwald, C. L.; Andrade, C. L. T. De; Bastos, F. I. Income Inequality, Residential Poverty Clustering and Infant Mortality: A Study in Rio de Janeiro, Brazil. *Social Science & Medicine* (1982), v. 55, n. 12, p. 2083–2092, dez. 2002.

United Nations. *World Population Prospects: the 2015 Revision*. [s.l.: s.n.].

University of Oxford. Max Roser. Disponível em: <<http://www.ox.ac.uk/research/research-in-conversation/our-place-world/max-roser>>. Acesso em: 28 jan. 2018.

Wilkinson, R. G.; Pickett, K. E. Income inequality and population health: a review and explanation of the evidence. *Social Science & Medicine* (1982), v. 62, n. 7, p. 1768–84, abr. 2006. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16226363>>. Acesso em: 20 jul. 2011.

Yule, G. U.; Kendall, M. G. *An introduction to the Theory of Statistics*. London: Griffin, 1950.

NOTAS

1. YULE, G. U.; KENDALL, M. G. **An introduction to the Theory of Statistics**. London: Griffin, 1950.
2. Como referência, em 2010, o salário mínimo era de R\$510,00.
3. na equação, o numerador é composto pela subtração entre o número de pessoas cujo rendimento era igual ou superior a R\$5.400,00 e o número de pessoas cujo rendimento era igual ou inferior a R\$1.000,00, dividido pelo total de pessoas que responderam ao questionário em cada área.
4. $AIC = -2L + 2K$, onde L é a log-verossimilhança e K é o número de parâmetros no modelo (ANSELIN, 2004).
5. Detalhes da busca: ("spatial analysis"[MeSH Terms] OR ("spatial"[All Fields] AND "analysis"[All Fields]) OR "spatial analysis"[All Fields]) AND ("infant mortality"[MeSH Terms] OR ("infant"[All Fields] AND "mortality"[All Fields]) OR "infant mortality"[All Fields]) AND ("brazil"[MeSH Terms] OR "brazil"[All Fields]), em 29 de dezembro de 2017.
6. Detalhes da busca: "análise espacial AND mortalidade infantil AND Brasil", em 1º de janeiro de 2018.
7. SABATINI, F.; CÁCERES, G.; CERDA, J. **Segregación residencial en las grandes ciudades chilenas, 1970-1992: Concepción y Valparaíso**. Santiago: Mideplan, 2001.

RESUMOS

Estima-se que a população mundial continuará aumentando até atingir a estabilidade em torno de 11 bilhões de pessoas em 2075. Portanto, o ambiente urbano, habitação para a maioria da população global, precisa ser visto como uma prioridade estratégica no futuro próximo, tanto em termos do impacto sobre os recursos naturais quanto à equidade de bem-estar e justiça social. A pobreza (absoluta e relativa) e sua relação com a saúde ainda é um desafio mesmo em países de alta renda. Em São Paulo, existe um gradiente socioespacial dos riscos relativos para algumas mortalidades, que aumentam à medida que o perfil socioambiental da população se agrava. Romper a ligação entre pobreza e saúde requer uma compreensão dos padrões espaciais para além da renda como um indicador agregado. Assim, testei se a renda ainda é o melhor indicador

para explicar a mortalidade infantil na cidade de São Paulo. Para tanto delinee um estudo ecológico, transversal, com expressão espacial, através da implementação de um projeto em Sistema de Informação Geográfica, a partir da unidade geográfica da área de ponderação do Censo Demográfico de 2010. Comparei o desempenho da renda como indicador com outros indicadores que expressam a composição da população, condições socioeconômicas, desigualdade de renda e segregação residencial. Os dados de óbitos do DATASUS corresponderam aos anos de 2006 a 2009. Os riscos relativos foram calculados pelo programa SaTScan, considerando sexo como covariável. Os dados socioeconômicos foram obtidos a partir dos microdados do Censo Demográfico de 2010 referentes às áreas de ponderação. As análises estatísticas compreenderam modelos de regressão linear não espacial simples (Mínimos Quadrados Ordinários). Devido à dependência espacial dos resíduos destes modelos, foram aplicados modelos de regressão espacial global, os quais não foram capazes de explicar totalmente as mortalidades estudadas. Finalmente, os modelos de regressão geograficamente ponderados permitiram verificar importantes associações espaciais. O Índice de Concentração nos Extremos (ICE) para renda e raça branca afluyente sobre pessoas de cor preta, parda ou indígena pobres foi o melhor preditor para a mortalidade infantil ($R^2 = 0,39$ e $AIC = 59,28$). Os resultados permitem concluir que é possível ir além da renda incorporando aspectos da segregação residencial por renda e cor ou raça combinados.

On estime que la population mondiale continuera d'augmenter jusqu'à atteindre la stabilité autour de 11 milliards de personnes en 2075. Par conséquent, l'environnement urbain, le logement pour la majorité de la population mondiale, doit être considéré comme une priorité stratégique dans un avenir proche, à la fois de l'impact sur les ressources naturelles et l'équité du bien-être et de la justice sociale. La pauvreté (absolue et relative) et sa relation avec la santé restent un défi, même dans les pays à revenu élevé. À São Paulo, il existe un gradient socio-spatial des risques relatifs pour certaines mortalités, qui augmentent à mesure que le profil socio-environnemental de la population se détériore. Pour briser le lien entre la pauvreté et la santé, il faut comprendre les modèles spatiaux au-delà du revenu comme indicateur agrégé. Ainsi, j'ai testé si le revenu est toujours le meilleur indicateur pour expliquer la mortalité infantile dans la ville de São Paulo. Pour cela, j'ai présenté une étude écologique et transversale avec expression spatiale à travers la mise en œuvre d'un projet dans le Système d'Information Géographique, à partir de l'unité géographique de la zone échantillon du recensement démographique de 2010. J'ai comparé la performance du revenu en tant qu'indicateur avec d'autres indicateurs qui expriment la composition de la population, les conditions socio-économiques, l'inégalité des revenus et la ségrégation résidentielle. Les données sur les décès par DATASUS correspondaient aux années 2006 à 2009. Les risques relatifs ont été calculés par le biais du programme SaTScan, en considérant le sexe comme covariable. Les données socio-économiques ont été obtenues à partir des microdonnées du recensement démographique de 2010 en se référant aux zones d'échantillonnage. Les analyses statistiques comprenaient des modèles de régression linéaire non spatiale simples (Ordinary Least Squares). En raison de la dépendance spatiale des résidus de ces modèles, des modèles de régression spatiale globale ont été appliqués, qui n'ont pas permis d'expliquer complètement les mortalités étudiées. Enfin, les modèles de régression géographiquement pondérés ont permis de vérifier les associations spatiales importantes. L'Indice de Concentration dans les Extrêmes (ICE) pour le revenu et la race blanche ou la couleur aisée des Noirs, des Mixtes ou des Indigènes pauvres était le meilleur prédicteur de la mortalité infantile ($R^2 = 0.39$ et $AIC = 59.28$). Les résultats permettent de conclure qu'il est possible d'aller au-delà du revenu en intégrant des aspects de la ségrégation résidentielle selon le revenu et la couleur ou la race combinés.

It is estimated that world population will keep increasing until reach stability around 11 billion people in 2075. Therefore, the urban environment, housing for the majority of the global

population, needs to be seen as a strategic priority in the near future, both in terms of the impact on natural resources and equity of welfare and social justice. Poverty (absolute and relative) and its relationship with health is still a challenge even in high-income countries. In São Paulo, there is a socio-spatial gradient of the relative risks for some mortalities, which increase as the socio-environmental profile of the population worsens. To break the link between poverty and health requires an understanding of spatial patterns beyond income as an aggregate indicator. Thus, I tested whether income is still the best indicator for explaining infant mortality in the city of São Paulo. For this I outlined an ecological, transversal study with spatial expression through the implementation of a project in Geographic Information System, from the geographic unit of the sample area of the 2010 Demographic Census. I compared income performance as an indicator with other indicators that express the population composition, socioeconomic conditions, income inequality and residential segregation. Data on deaths from DATASUS corresponded to the years 2006 to 2009. The relative risks were calculated through the SaTScan program, considering sex as covariate. Socioeconomic data were obtained from the micro data of the Demographic Census of 2010 referring to the sample areas. Statistical analyzes comprised simple non-spatial linear regression models (Ordinary Least Squares). Due to the spatial dependence of the residues of these models, global spatial regression models were applied, which were not able to fully explain the studied mortalities. Finally, the geographically weighted regression models allowed verifying important spatial associations. The Index of Concentration in the Extremes (ICE) for income and affluent White race or color on poor Black, Mixed or Indigenous people was the best predictor for infant mortality ($R^2 = 0.39$ and $AIC = 59.28$). The results allow concluding that it is possible to move beyond income by incorporating aspects of residential segregation by income and color or race combined.

ÍNDICE

Mots-clés: Indicateur socioéconomique composite. Le revenu. L'inégalité des revenus. Séparation résidentielle Mortalité infantile

Keywords: Composite socioeconomic indicator. Income. Income inequality. Residential segregation. Infant mortality.

Palavras-chave: Indicador socioeconômico composto. Renda. Desigualdade de rendimento. Segregação residencial. Mortalidade infantil.

AUTOR

LIGIA VIZEU BARROZO

Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo (USP), lija@usp.br

Sustentabilidade socioambiental e a saúde nos territórios (re)construídos por projetos hidrelétricos na Amazônia: o caso de Belo Monte.

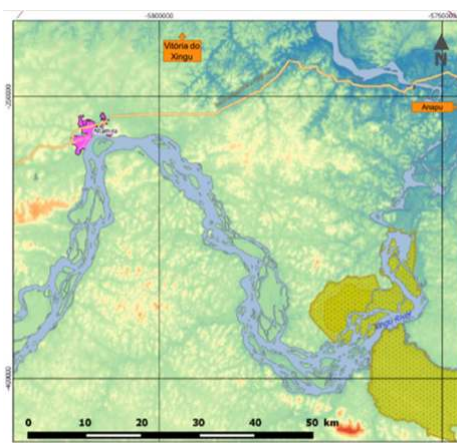
La durabilité socioculturelle et la santé dans les territoires (re) construits par les projets hydroélectriques en Amazonie : le cas de Belo Monte

Sociocultural sustainability and health in territories (re)built by hydroelectric projects in the Amazon: the case of Belo Monte

Missifany Silveira, Mario Diniz de Araújo Neto, Helen Gurgel e Laurent Durieux

Introdução

- 1 Ainda que consideradas como um importante provedor de energia elétrica limpa, as usinas hidrelétricas também se situam no patamar dos grandes empreendimentos que provocam efeitos negativos sobre as áreas sensíveis, tanto do ponto de vista ambiental como social, particularmente em áreas de expansão, como a região amazônica.
- 2 Como observado no caso emblemático da Usina Hidrelétrica (UHE) de Belo Monte considerada como o processo de licenciamento ambiental mais completo e pesquisado de todos os tempos no Brasil os resultados das ações de mitigação e compensação dos impactos implementadas pelo empreendedor e pelo poder público não se traduzem em melhores condições socioambientais ou de qualidade de vida na região. Uma das obras mais caras e emblemáticas do Plano de Aceleração do Crescimento (PAC), a UHE de Belo Monte foi um dos empreendimentos mais criticados, principalmente pela ocorrência de inúmeros conflitos socioambientais, que desencadearam inúmeros processos judiciais movidos contra a obra em construção. Neles, apontavam-se as violações de direitos humanos estabelecidos pelos tratados internacionais, bem como infrações da legislação ambiental e dos direitos constitucionais (MAB, 2011; FLEURY, 2013; OLIVEIRA e COHN, 2014; ISA, 2015).
- 3 Nesse contexto, um dos pontos omissos no processo de licenciamento ambiental de usinas hidrelétricas no Brasil é o fato de que ele se fundamenta na avaliação dos impactos ambientais de empreendimentos pautados no controle e mitigação dos impactos do projeto de forma isolada, sem a devida avaliação dos efeitos cumulativos dos empreendimentos na área (ANDRADE, 2011). Normalmente, as medidas mitigatórias de compensação dos impactos gerados pelos grandes projetos hidrelétricos são realizadas pelos empreendedores, que assumem o papel institucional para a resolução do problema. Essa situação, na maioria das vezes, gera conflitos por conta de as ações implementadas não incluírem a participação da sociedade na tomada de decisões (ZHOURI e OLIVEIRA, 2007).
- 4 Para muitos críticos dos empreendimentos dessa natureza, a implantação de grandes projetos de infraestrutura na região da Amazônia brasileira, a exemplo das hidrelétricas, continua a adotar o paradigma de acordo com o qual as populações seriam coadjuvantes no processo de implementação dessas obras, e, portanto, permaneceriam excluídas da tomada de decisão, contrariando a percepção de que esses povos são, na verdade, importantes atores do processo (ZHOURI e OLIVEIRA, 2007; IHU, 2012; ISA, 2015).
- 5 Este artigo tem como objetivo apresentar uma reflexão sobre os projetos de desenvolvimento, especialmente das hidrelétricas, e as questões intrínsecas relacionadas à tomada de decisão de uma política pública, plano ou projeto que interferem, direta ou indiretamente, no bem-estar das populações e na sustentabilidade socioambiental diante da complexidade dos impactos imediatos ou latentes sobre o território onde vivem as populações tradicionais, principalmente indígenas e ribeirinhos.



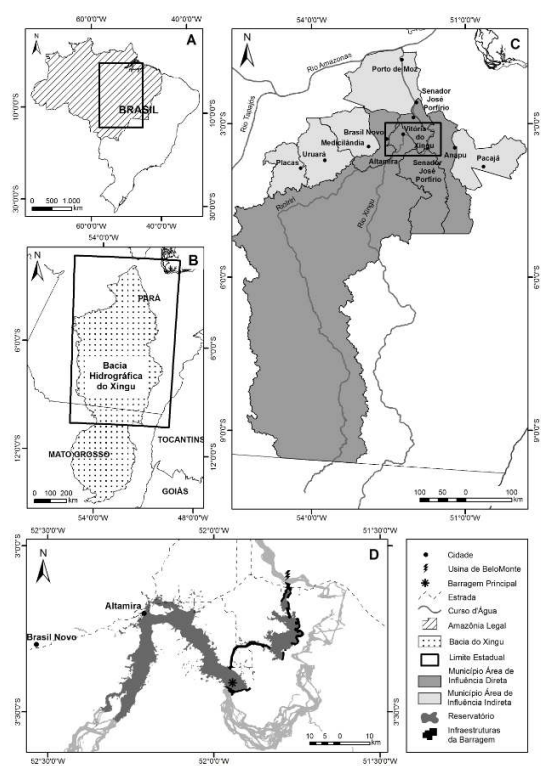
- 6 O presente estudo apresenta o caso da UHE de Belo Monte, localizada na Amazônia brasileira, concentrando-se nos meios de discussão da obra e seus impactos socioambientais e na saúde. Estes aspectos se fundamentam em pesquisa bibliográfica e em documentos que abordam as dinâmicas presentes nos processos de licenciamento ambiental frente os possíveis impactos advindos das transformações no território com a implantação de hidrelétricas.
- 7 Vale destacar que é justamente nos impactos sociais que se cruzam as questões de qualidade de vida e bem-estar, e no espaço socioambiental se revelam as situações concernentes à saúde das populações que vivem nesses territórios (re)construídos pela implantação das hidrelétricas.

Avaliação de impacto ambiental: a delimitação dos impactos no território atende a quem?

- 8 A concepção dos estudos de impacto ambiental se caracteriza como o momento de levantamento e discussão a respeito de quais localidades se mostram mais adequadas ao empreendimento e, teoricamente, em quais delas haveria um menor impacto no ambiente e nas comunidades afetadas. No entanto, quando se observam os estudos ambientais realizados por empresas privadas especializadas em estudos de impacto ambiental, via de regra contratadas pelo empreendedor, a seleção da localidade das obras se orienta predominantemente pela viabilidade econômica, de modo que a “área de influência” do empreendimento termina por não delimitar impactos de forma mais abrangente. Quando da apresentação do diagnóstico da área de impacto e da escolha da localidade que “melhor” corresponde à realidade, sujeito a consultas públicas, é comum que tais parâmetros já se encontrem predefinidos pelos detentores do projeto.
- 9 É inquestionável a importância do diagnóstico ambiental da Área de Influência Direta (AID) e Indireta (AII) como elemento fundamental para o processo de licenciamento, com vistas à obtenção das licenças ambientais. Contudo, a questão são os parâmetros de escolha das áreas para a implantação de determinados empreendimentos que não consideram o território onde as pessoas vivem, trabalham e estabelecem relações, aspecto que se estende para além dos critérios estabelecidos por uma AID ou AII.
- 10 No Brasil, embora a legislação ambiental seja considerada como uma das mais avançadas do mundo, as avaliações de impacto ambiental de grandes empreendimentos, a exemplo das hidrelétricas, ainda são reducionistas, compartimentalizadas e alheias ao âmbito social. Segundo Manyari (2007), ao dividir em componentes biofísicos, avaliados de forma independente do contexto social, as dimensões cultural, espiritual, econômica e ambiental na visão das comunidades que vivem nesses territórios ficam negligenciadas do processo.
- 11 Nessa perspectiva, o território deve ser compreendido como recurso metodológico para a análise dos impactos socioambientais, de forma a se evidenciar as escalas global/nacional ou local das questões abordadas com a finalidade de se compreenderem as relações de poder e suas formas de organização nessas diferentes escalas de atuação (PAZ, 2006).
- 12 No tocante aos estudos de impacto ambiental de hidrelétricas, não se exige a explicitação de critérios que justifiquem a sua abrangência espacial e temporal. Um exemplo é o que ocorre em áreas que normalmente transcendem às do reservatório da hidrelétrica, onde

- os impactos só serão perceptíveis décadas depois do barramento, como o que aconteceu no caso de Tucuruí. Nesse sentido, a espacialização dos impactos nos estudos ambientais deveria considerar as questões mais abrangentes do território, segundo as escalas pertinentes e a temporalização das transformações intrínsecas ao projeto, e não apenas enfatizar a caracterização de recursos ambientais em sua situação atual (MANYARI, 2007).
- 13 Manyari (2007) ressalta a negligência quanto à dimensão espacial e temporal no Estudo de Impacto Ambiental (EIA) quando se trata das transformações introduzidas nos sistemas ambientais, fator que o caracteriza como um instrumento compartimentalizado. É fundamental, para os estudos na área de hidrelétricas, a espacialização dos impactos, pois durante sua implantação ocorre uma segmentação do sítio hidroenergético que é dividido em: (i) lago artificial do reservatório, região de entorno e seus trechos; (ii) montante; e, (iii) jusante. Portanto, no âmbito de uma avaliação dos impactos causados pela construção de hidrelétricas, a análise espaço-temporal é essencial para se compreender o objeto de investigação, delimitando-se os períodos e as escalas geográficas no território.
- 14 Todavia, há a necessidade de uma base de referência para a identificação e previsão de impactos quando se realizam os estudos ambientais, situando-se a incidência temporal (curto, médio e longo prazo), com a distinção dos impactos resultantes da construção ou da operação em si, no caso da implantação de uma usina hidrelétrica. Nesse sentido, o território como local onde se aplicam as políticas públicas deve ser reconhecido pelo seu conteúdo ambiental, social e político (PEITER et al, 2006). Assim, a delimitação dos impactos permite que as diferentes populações que habitam os locais próximos ao empreendimento sejam menos afetadas por ele.
- 15 Considerada a terceira maior do mundo, a Usina Hidrelétrica (UHE) de Belo Monte terá capacidade instalada de 11.233,1 MW, com dois reservatórios que, somados, compreendem uma área total de 516 km² no rio Xingu. Sua barragem principal se localiza a aproximadamente 40 km a jusante da cidade de Altamira, no Estado do Pará. Sua concepção abrange um barramento principal no rio Xingu, de onde derivam as vazões por canal que segue até a Casa de Força Principal com a formação de um trecho de cerca de 100 km de extensão no rio Xingu a ser submetido a uma vazão residual. Segundo o Relatório de Impacto Ambiental (RIMA), a maior parte da área de abrangência do reservatório se situa no município de Altamira, com 51,9%; 48% está localizada em Vitória do Xingu, e 0,1% em Brasil Novo. Além dessas localidades, o empreendimento terá influência direta nos municípios de Anapu e Senador José Porfírio. Altamira foi o município com o maior afluxo populacional, composto tanto de trabalhadores para a construção da obra como de pessoas atraídas em busca melhores oportunidades de trabalho e renda (SILVEIRA, 2016).
- 16 A Usina Hidrelétrica (UHE) de Belo Monte (Figura 1) foi erguida em território que apresenta contradições diversas que alimentam muitos problemas na região, a exemplo dos deslocamentos compulsórios nas áreas rurais e urbanas, fator de desestrutura social e conflitos por terra, como tem apontado relatórios de organizações civis e do Ministério Público Federal (ISA, 2015; BRASIL, 2015a,b).

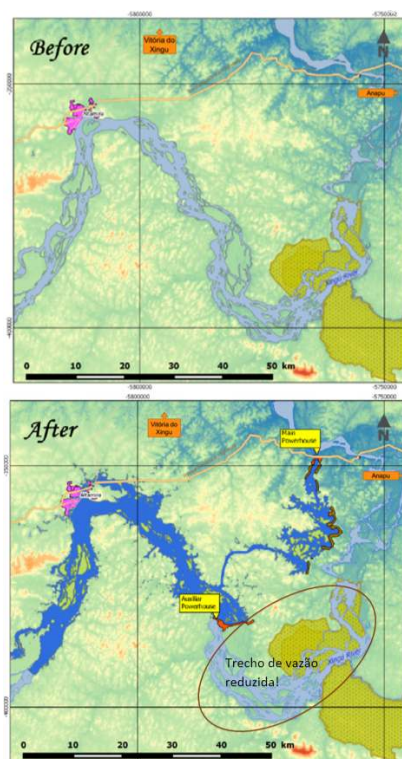
Figura 1: - Localização da usina de Belo Monte.



Fonte: Silveira, 2016

- 17 O Painel de Especialistas, formado por 38 pesquisadores voluntários, desde de 2009, questionavam a qualidade e confiabilidade do Estudo de Impacto Ambiental (EIA) apresentado pelo empreendedor responsável pela construção da usina para a obtenção da Licença Prévia (LP), dentre os vários artigos compilados, questionou a eficiência energética do projeto, apresentando dúvidas acerca da sua viabilidade técnica, econômica e social (MAGALHÃES e HERNANDEZ, 2009). Considerado um dos pontos críticos durante seu licenciamento, o trecho do rio à jusante da barragem, na Volta Grande do Xingu, tornou-se alvo de diversas críticas por estudiosos, ambientalistas e lideranças indígenas e ribeirinhos diante da estimativa de vazão reduzida nos períodos de seca pelo enchimento da barragem (BERMANN, 2010; ISA, 2015). Apesar de “tecnicamente viável”, as críticas apontavam que o trecho de vazão reduzida (TVR) poderia comprometer a biodiversidade, as condições de obtenção de água potável, a navegação, a reprodução de peixes, além de afetar o modo de vida das populações tradicionais que vivem às margens do Rio Xingu (figura 2).

Figura 2 – Cenário para o Rio Xingu antes e depois do enchimento do reservatório da UHE de Belo Monte.



Fonte: Silveira, 2016.

- 18 As evidências de que a avaliação de impacto ambiental deixa lacunas passíveis de questionamento, é demonstrado pela ausência de critérios mais específicos de consideração dos impactos cumulativos e dos efeitos sinérgicos na região, que submetem a população local, principalmente as mais vulneráveis, a situações de desequilíbrios ou conflitos que poderiam ser evitados com uma avaliação e planejamento adequados. As circunstâncias adversas também acarretam prejuízos ao poder público – que, no caso da hidrelétrica de Belo Monte, é o proponente do projeto –, considerando-se que houve inúmeras paralizações e gastos pela ausência de planejamento eficiente que contemplasse uma avaliação mais abrangente em torno dos impactos sociais, tendo em vista os altos investimentos nos programas de mitigação.
- 19 O caso de Belo Monte expôs esse problema quando o EIA considerou que das nove terras indígenas afetadas pelo projeto, apenas duas estariam dentro da Área de Influência Direta (AID), ficando as demais fora do escopo de “influência”, prejudicando os povos que dependem mais intensamente do ambiente para sua subsistência (ACSELRAD e MELLO, 2009). Essa escolha de parâmetros equivocada levou as populações indígenas da região a não reconhecerem o Plano Básico Ambiental do Componente Indígena (PBA-CI) realizado pela Fundação Nacional do Índio (Funai), pela falta de transparência das informações sobre as ações definidas pelo plano e das oitavas que nunca foram realizadas. Conforme dados da Fundação Getúlio Vargas (Indicadores de Belo Monte), a maior parte das condicionantes do PBA-CI ainda não havia sido cumprida (FGV, 2015).
- 20 O Relatório de Inspeção Interinstitucional: áreas ribeirinhas atingidas pelo processo de remoção compulsória da UHE Belo Monte, documento elaborado pelo Ministério Público

Federal (MPF), apresenta uma dura crítica ao PBA, pelo descumprimento de suas premissas no que tange à participação de grupos tradicionais, como ribeirinhos, quilombolas e indígenas. Segundo o MPF, os grupos tradicionais foram negligenciados durante o licenciamento ambiental, sem direito à participação no processo decisório quanto ao reassentamento das populações na área do reservatório da hidrelétrica (BRASIL, 2015a).

- 21 No que tange à área urbana, a cidade de Altamira, apesar de distante cerca de 40 km da principal barragem, é a que mais tem sofrido com os impactos do empreendimento. A arrecadação da compensação financeira pelo uso de recursos hídricos, no caso as águas dos reservatórios no Rio Xingu, tem revelado o quão incoerente são os critérios de distribuição para as áreas de influência do projeto. Como exemplo, pode-se citar Vitória do Xingu, que recebe valores de recursos superiores aos demais, quando se considera seu número de habitantes, bastante inferior ao estimado para Altamira, que recebeu o maior contingente de trabalhadores da obra e a maioria dos migrantes em busca de trabalho e renda. Esse é um dos problemas apontado pelos gestores e pela população local e que tem desestabilizado a infraestrutura local, principalmente nos setores de saúde pública (SILVEIRA, 2016).
- 22 Assim, quando se discute avaliação de impactos, a população não pode ser vista apenas como um dos itens de externalidade do empreendimento, mas deve ser tratada de forma integrada às dinâmicas locais que sofreram transformações de ordem ambiental, social e econômica por imposição do empreendimento. Essas mesmas populações, com especificidades tão diversas, podem contribuir para o incremento do desenvolvimento da região se forem consideradas na sua condição de atores visíveis do debate.
- 23 Nesse sentido, na avaliação dos impactos dos projetos de desenvolvimentos, a espacialização e a temporalidade são fundamentais para mensurar os impactos cumulativos e sinérgicos que acontecem no território. Dessa maneira, delimitam-se não somente os aspectos biofísicos, mas, principalmente, aqueles que causam impactos sociais. Intenta-se, assim, evitar a repetição de modelos adotados há décadas, que ignoram as mazelas impostas pelo empreendimento, no que costumamos chamar de externalidades.

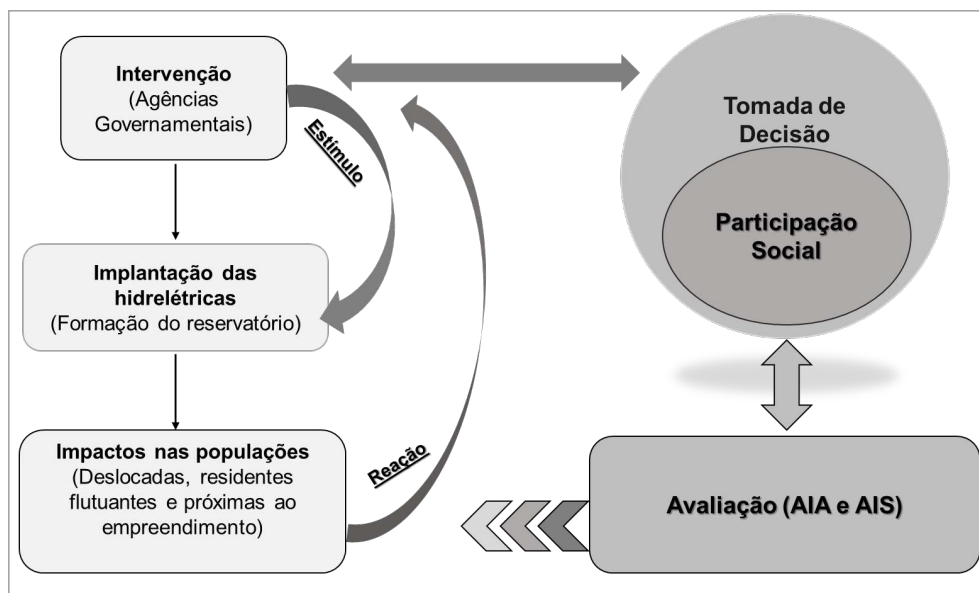
Avaliação de Impacto à Saúde (AIS): a participação social como valor essencial à sustentabilidade dos projetos hidrelétricos

- 24 Desde a década de 1980, reconhecidos estudiosos na área de hidroeletricidade no Brasil têm se mostrado preocupados diante dos prováveis impactos gerados pelos grandes projetos hidrelétricos e sua correlação com os povos atingidos nos seus espaços territoriais. Segundo Rosa et al (1988), a partir das consequências das “intervenções vindas de cima” pelas agências governamentais, configuram-se os impactos. Na medida em que a população “reage” ao “estímulo” dessas intervenções, surgem os conflitos nessas comunidades. Esses autores recomendavam, há décadas, que as tomadas de decisões em projetos dessa magnitude deveriam ocorrer junto à sociedade, de forma a se avaliarem os impactos e estabelecer o devido gerenciamento dos diferentes conflitos, sejam eles de poder, social, político, sócio territoriais, fundiários, étnicos, entre outros. Sustentam também que a omissão dos problemas ambientais e socioeconômicos exige a

elaboração, no futuro, de avaliações para mitigar e diminuir a amplitude dos riscos e impactos gerados por essas obras, incluindo os aspectos de saúde. (ROSA et al, 1988).

- 25 A partir desse debate, como também diante das críticas ao modelo de desenvolvimento vigente, segundo o qual são instituídos os projetos de desenvolvimento em áreas de grande biodiversidade e com recursos ambientais abundantes, assinala-se a importância da participação dos atores sociais que habitam as áreas afetadas para que possam ter voz ativa diante de qualquer intervenção no seu território. Nessa perspectiva, o esquema a seguir (Figura 3) ilustra um modelo conceitual que ressalta a importância de se assegurar a participação social durante a tomada de decisão e verifica-se a eminência de impactos gerados por um grande empreendimento hidrelétrico – geralmente originado por uma intervenção política. Infere-se assim, a importância de se considerar as populações atingidas como partícipes do processo de avaliação de impactos, assim como preconiza a Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) e Avaliação de Impacto à Saúde (AIS).
- 26 A institucionalização de procedimentos relativos à participação das populações afetadas com a implantação de grandes empreendimentos é marcada por audiências públicas, realizadas pelos órgãos responsáveis no exercício da administração pública. A avaliação de impacto ambiental, esse tipo de audiência se constitui como uma das etapas previstas, caracterizando-se como o principal canal de participação das comunidades nas decisões em esfera local (BRASIL, 2008).
- 27 A criação de fóruns ou comitês de negociação são instrumentos importantes principalmente porque possibilitam a redução de conflitos e a diminuição das interferências no modo de vida dos diversos grupos sociais locais durante a implantação das hidrelétricas. Todavia, tanto as audiências públicas quanto os fóruns de negociação e comitês de cogestão são instâncias que, apesar de influenciarem o processo, não determinam a tomada de decisão, pois possuem caráter apenas consultivo. De acordo com Bessa et al (2011), para ocorrer de fato o fortalecimento da governança e, com ela, a possibilidade de se estabelecer um processo político mais abrangente, com eficiência e transparência nas decisões públicas, é necessária a inclusão de uma ampla gama de atores sociais no processo.

Figura 3 – Modelo de participação social na tomada de decisão e gerenciamento de conflitos em projetos hidrelétricos



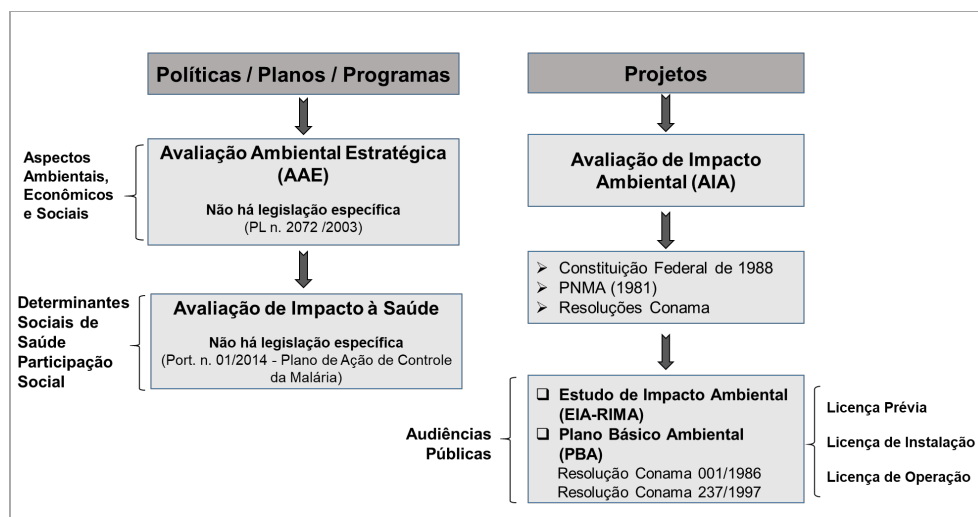
Fonte: Silveira, 2016.

- 28 Segundo Gomide (2015), a origem dos conflitos ocasionados pelos impactos socioambientais se apresenta justamente na ausência de consultas antecipadas aos grupos sociais e à sociedade como um todo, afetada pelas obras. Esse fator acarreta, dentre muitos outros obstáculos, o atraso nas obras pela ocorrência de paralizações e judicializações, que acabam por emperrar o ritmo da execução dos investimentos em infraestrutura (GOMIDE, 2015).
- 29 O Movimento dos Atingidos por Barragem (MAB) sustenta que os resultados das audiências públicas não se mostram eficientes para atender os anseios da população. Sem a concessão do devido espaço para expressarem suas opiniões ou contestar os argumentos dos interessados, os habitantes dessas localidades se sentem manipulados pelo empreendedor ou pelos grupos de interesses particulares (MAB, 2011). Para Santos (2015), “as audiências públicas ainda são realizadas de forma verticalizada”, as populações atingidas pelas barragens não são prioridades por parte do empreendedor, além da ausência de consultas às populações indígenas e tradicionais (SANTOS, 2015).
- 30 Conforme exposto, o modelo de participação adotado na AIA no Brasil não é suficiente para refletir os impactos reais sobre determinada população. Nessa perspectiva, a saúde, como conceito unificador dos principais problemas identificados, deveria ser objeto sistemático de avaliação e participação social. Assim, é importante enfatizar que a Avaliação de Impacto à Saúde (AIS)¹, como estratégia pensada no país, conectada aos processos de licenciamento ou a outras formas de avaliação, como a Avaliação Ambiental Estratégica (AAE), poderia ser aplicada com o objetivo de inserir, no escopo das políticas públicas, planos e projetos, o processo participativo das populações envolvidas.
- 31 No entanto, apenas a AIA se consolidou como instrumento de avaliação normativo. Desse modo, os interesses, sejam eles governamentais ou empresariais, acabaram por reduzir a importância dos instrumentos da política ambiental, materializados nos EIAs/RIMAs, por meio das audiências públicas, transformando-se, por conseguinte, em etapas burocráticas,

cujo resultado objetivo único se restringe à aprovação dos respectivos projetos, mediante as licenças ambientais (SABBAG, 2006). Para que os instrumentos de avaliação de impactos considerem no seu escopo os aspectos sociais e de saúde, indica-se a criação de instrumentos jurídicos ou legislação específica para sua aplicação sistemática no interior de uma política, plano ou projeto de desenvolvimento (Figura 4).

- 32 Há de se destacar que houve mudanças significativas no cenário atual do setor elétrico brasileiro em face das questões decorrentes dos impactos sociais causados pela implantação das hidrelétricas. Porém se reconhece que tais alterações não foram suficientes, levando-se em conta os desafios enfrentados pelas comunidades afetadas. Vale ressaltar também que os trabalhos de elaboração dos estudos ambientais e seus respectivos relatórios (EIA-RIMAs) são realizados por equipes multidisciplinares. De modo geral, a análise que ocorre após a definição do projeto se mostra pouco satisfatória no sentido da inclusão de determinados aspectos relevantes, como os riscos ou impactos na saúde, contribuindo, assim, para a exclusão dos elementos sociais. Quando ocorre a inclusão destes últimos se dão de maneira subjetiva e pouco relevante, observa-se a valorização sobretudo dos aspectos biofísicos.

Figura 4 – Instrumentos de avaliação de impacto no contexto das Políticas, Planos e Projetos no Brasil.



Fonte: Silveira, 2016.

- 33 Outro ponto de destaque se refere aos fóruns de negociação direta com a população. Segundo Bessa et al (2011), no âmbito dos empreendimentos hidrelétricos no Brasil, esses fóruns comumente atribuem governança aos grupos envolvidos, com reais possibilidades de fortalecimento local e de constituição de processos de descentralização, assim como a valorização dos movimentos sociais, essenciais para o empoderamento dos atores envolvidos (BESSA et al, 2011). Para estes autores, os grupos sociais impactados por um empreendimento hidrelétrico são os principais atores da engrenagem, uma vez que cedem seus territórios e locais de moradia para esses grandes projetos, considerados como estruturantes do desenvolvimento regional e nacional.
- 34 No entanto, ainda é uma tarefa complexa e requer o envolvimento de diversos setores, como observado durante a implementação do Plano Básico Ambiental (PBA) da UHE de Belo Monte. Esse processo adquiriu contornos mais significativos diante da posição dos

movimentos sociais, que apontaram e enfrentaram os desafios decorrentes dos impactos causados pelo empreendimento, beneficiando-se também da mediação dos conflitos socioambientais. Ao contrário desse fórum, as audiências públicas, coordenadas pelo órgão ambiental, se mostraram mecanismos frágeis de discussão frente a falta de espaço para questionamentos de interesse social pelos principais grupos tradicionais afetados pela usina, como os povos indígenas.

- 35 Nesse cenário, o Plano de Desenvolvimento Regional Sustentável do Xingu (PDRS-X), apresentado pelo poder público em esfera federal e estadual, surgiu como mecanismo de resolução de conflitos, com a finalidade de apontar soluções para a mitigação dos impactos sobre a população na área de influência da usina de Belo Monte, por representantes de diferentes segmentos vinculados às Câmaras Técnicas. Mesmo com a plausibilidade de iniciativas dessa natureza, observa-se a persistência de descompassos nas diferentes etapas de tomada de decisão com envolvimento da participação social, conforme pesquisa apontada por Silveira (2016).
- 36 Vale destacar que, a Usina Hidrelétrica de Belo Monte foi financiada pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Social (BNDES), considerado um dos maiores bancos públicos de desenvolvimento do mundo. No entanto, o BNDES não é signatário dos Princípios do Equador², que asseguram critérios mínimos para a concessão de crédito pelos maiores bancos financiadores para garantir a sustentabilidade de projetos de maneira socialmente responsável.
- 37 Apesar de o BNDES contar com uma política social e ambiental, caracteriza-se como incipiente, no âmbito dos projetos por ele financiados, o tratamento das questões alusivas aos impactos negativos na esfera dos direitos humanos, além da ausência de canais de diálogo com as comunidades que sofrem diretamente as consequências prejudiciais desses empreendimentos. Conforme documento publicado pela Conectas Direitos Humanos (2014), os maiores problemas constatados pelos órgãos de controle – Ministério Público e o Tribunal de Contas da União – recaem sobre a falta de políticas direcionadas aos direitos humanos no contexto de implantação dos grandes empreendimentos, especialmente sobre os grupos sociais e comunidades vulneráveis (CONNECTAS, 2014).
- 38 O documento também indica lacunas legais e regulatórias do ordenamento jurídico brasileiro no tocante, por exemplo, ao acesso de informações pela sociedade sobre o uso dos recursos públicos pelo BNDES em projetos com esse volume de recurso. Ressalta que, apesar da sua importância para o desenvolvimento social e econômico brasileiro, “é fundamental trazer à discussão o papel e a responsabilidade do BNDES na prevenção desses impactos e sua reparação”. Para tanto, propõe que, com vistas ao fortalecimento do quadro normativo que rege a sua atuação, o BNDES se pautar em três dimensões: i) transparência e acesso à informação, ii) participação das pessoas diretamente afetadas pelos projetos nas fases de planejamento e execução, e iii) efetividade das diretrizes e políticas socioambientais e de respeito aos direitos humanos. Argumenta ainda que, segundo a Declaração da ONU sobre o Direito ao Desenvolvimento (1986), em seu artigo 2º, “A pessoa humana é o sujeito central do desenvolvimento e deve ser ativa participante e beneficiária do direito ao desenvolvimento” (CONNECTAS, 2014).
- 39 Para o reconhecimento dos direitos à mitigação dos impactos e os deveres adquiridos pelo benefício do desenvolvimento, as negociações devem ocorrer em conjunto com as populações afetadas pelo empreendimento em um contexto de acordo mútuo e fundamentos jurídicos. Para tanto, é preciso cumprir todos os compromissos assumidos, desde o planejamento até a operação do empreendimento, por todos os envolvidos, quais

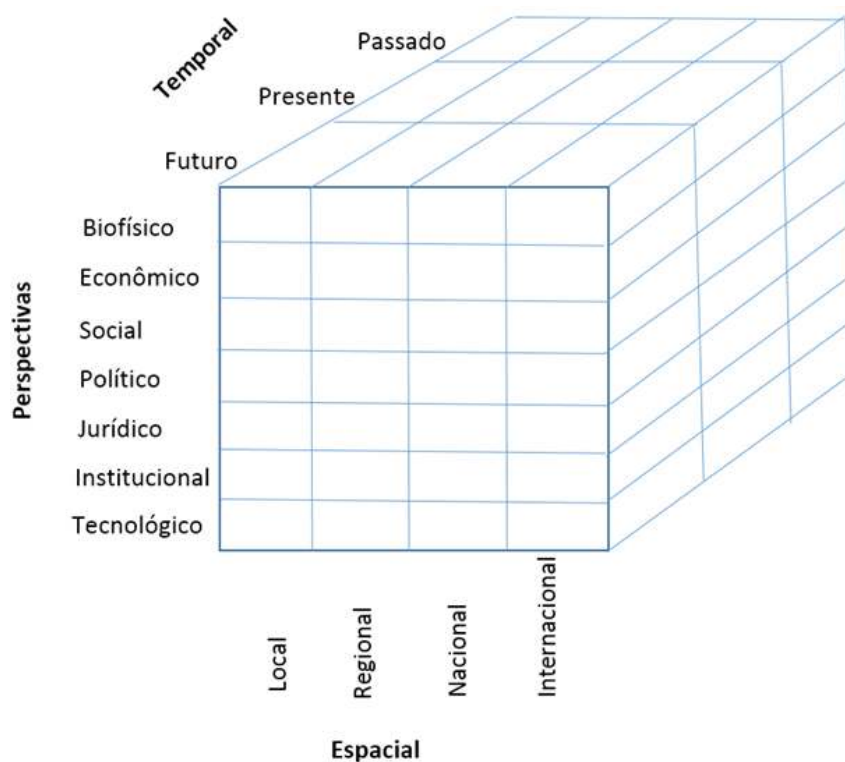
sejam, os governos, o empreendedor e a sociedade civil, por intermédio dos conselhos especializados e movimentos sociais. Dessa forma é possível conferir legitimidade ao processo, que se desenvolve num contexto de reconhecimento dos direitos e dos riscos existentes, salvaguardando os devidos benefícios às populações afetadas, como propôs o Relatório da Comissão Mundial de Barragens (WCD, 2000).

- 40 De acordo com o Relatório da Comissão Mundial de Barragens (CMB), elaborado na virada do milênio, foram apresentadas novas proposições para que a tomada de decisões sobre o planejamento de barragens tivesse como base cinco valores essenciais: equidade, sustentabilidade, eficiência, processo decisório participativo e responsabilidade. Mesmo no lançamento do Relatório já apontava que a construção de barragens é “uma das questões mais controvertidas na área do desenvolvimento sustentável”. Decorridos mais de dezesseis anos do lançamento desse relatório, ainda hoje não há consenso entre os que apoiam a implantação de grandes barragens e os que se opõem, configurando-se como questão ambígua, na qual persistem os mesmos problemas (WCD, 2000).

Capacidade política, institucional e governança local para a construção de territórios saudáveis e sustentáveis face a exploração dos recursos naturais

- 41 Para a compreensão das dinâmicas que se estabelecem no território a partir da implantação de projetos de desenvolvimento, é importante a utilização de uma base teórica segundo a qual os recursos naturais e sua utilização pelos atores sociais são compreendidos numa esfera de gestão, nas várias perspectivas adotadas numa esfera temporal – passado, presente e futuro – e numa escala espacial – local, regional, nacional e global. Na concepção de Mitchell (1979), as três abordagens que envolvem a gestão dos recursos naturais – ecológica, etnológica (cultural e social) e econômica – revelam perspectivas importantes e necessárias para a realização de uma análise abrangente dos problemas, a qual engloba diferentes óticas, como a biofísica, econômica, social, política, jurídica, institucional e tecnológica (Figura 5).

Figura 5 – Aspectos envolvidos na tomada de decisões, em escala espacial e temporal, para a gestão de recursos naturais.



Fonte: Mitchell 1979.

- 42 No nível nacional e internacional os projetos hidrelétricos na Amazônia se configuraram como a “nova fronteira” para a geração de energia elétrica. No entanto, nos níveis regional e local a discussão sobre o planejamento de empreendimentos hidrelétricos traz à tona a necessidade de uma nova ótica sobre as questões socioambientais e de saúde, decorrentes das modificações do território diante da construção destas grandes obras, onde princípios éticos fundamentais para que a comunidades locais vivam de maneira mais justa ambiental e socialmente não podem ser negligenciados.
- 43 Esse pode ser o ponto de partida para se avaliarem as adequações necessárias à tomada de decisões no contexto de uma política, plano ou projeto. Para a implantação de uma hidrelétrica, por exemplo, trata-se de passo fundamental para a identificação de problemas e a definição de estratégias nos âmbitos envolvidos no reconhecimento das especificidades dos recursos naturais, seu uso e os conflitos que se inserem nos territórios, quando consideradas as escalas temporal e espacial.
- 44 A implantação de projetos de desenvolvimento, como as grandes hidrelétricas, requer a consideração das diferentes dimensões, de forma a garantir melhores arranjos institucionais e uma capacidade de resposta adequada à tomada de decisão. Destaca-se também a importância da proposição de estratégias políticas com vistas à resolução dos problemas, a partir de soluções claras e eficazes. De modo geral, o processo de análise dos grandes projetos se mostra limitado no tocante às inúmeras perspectivas que compõem o contexto socioambiental. Questões fundamentais, como a participação efetiva das populações afetadas pelos empreendimentos, recebem tratamento excludente e alheio ao processo de decisão.

- 45 Sugere-se quatro etapas essenciais para a formulação de políticas: i) identificação do problema significativo, para o qual não existe qualquer política - ou as que existem são insuficientes; ii) formulação de uma política que objetive resolver o problema; iii) implementação da política; iv) acompanhamento dos seus efeitos (Mitchell, 1979). Sendo assim, as etapas para a evolução de uma política são complexas e requerem o empenho e a influência daqueles que tomam as decisões e seus assessores técnicos. No entanto, para ser eficaz, a hierarquia administrativa depende da articulação ou do entrelaçamento das diferentes esferas de poder - local, regional ou nacional -, e não apenas as habilidades de cada um.
- 46 Em uma escala hierárquica de decisão política, é comum identificar como muitas vezes os responsáveis pela decisão se situam no patamar mais alto. No extremo oposto, localizam-se os atores interessados em entender o problema a ser enfrentado pelos tomadores de decisão, os quais, apesar de participarem frequentemente, influenciam em menor grau a implantação de uma política. Existem também aqueles não envolvidos diretamente, mas que apresentam participação ocasional, apesar da sua grande importância para o processo de identificação dos problemas, a exemplo dos críticos e da sociedade civil.
- 47 Contudo, a identificação dos problemas é apenas o primeiro passo para a implementação e avaliação de determinada política. O modelo hierárquico pelo qual o poder de decisão é influenciado pelos decisores de alto escalão, num processo que ocorre de forma vertical, de cima para baixo, precisa ser revisto a fim de abrir espaço para participação de outros atores não menos importantes. Essa mudança levaria à propositura de modelos políticos institucionais em que os objetivos de um plano, programa ou projeto se adequassem à natureza dos problemas identificados e suas respectivas soluções.
- 48 Castro (2003) sustenta que, por ser a política um campo de disputas de interesses do qual emergem as noções de controle e poder no território, os conflitos aparecem, necessitando-se, portanto, das instituições de poder - políticas, econômicas e sociais - para mediá-los. De acordo com essa argumentação, são as instituições que "constituem os meios de socialização e que asseguram a transmissão de normas e valores sociais". Elas definem as regras numa sociedade, desempenhando funções basilares no território, na organização da política local e no estabelecimento de padrões significativos de fenômenos sociais no espaço (CASTRO, 2003).
- 49 Para Bursztyn e Bursztyn (2012), quando se trata de políticas públicas, estas "estão associadas aos processos de decisão referentes aos governos e voltados aos interesses coletivos, onde suas ações são regulares, institucionalizadas e visam objetivos e fins determinados". Os autores destacam que uma das questões críticas da ciência política, particularmente no contexto ambientalista, é que nem sempre o interesse de todos corresponde ao propósito público. Nesse sentido, quando entram em jogo divergências entre as intenções de determinados grupos e o interesse público, surgem os conflitos de território.
- 50 Porém, sabe-se que a integração entre as políticas públicas continua a ser um ponto crucial. Assim sendo, as políticas públicas ambientais não poderiam se dissociar das medidas relativas à proteção social. Dentre estas, as políticas de saúde configuram como fundamentais para assegurar o equilíbrio social e a proteção ambiental, já que as relações entre a sociedade e meio ambiente envolvem o comprometimento das condições de vida.
- 51 No Brasil, a saúde é parte integrante das ações sociais como elemento central da estratégia da seguridade social, compondo o sistema de proteção social. Na condição de

elemento essencial para as transformações econômicas, sociais e políticas, que conduz à melhoria da qualidade de vida, apresenta influência direta sobre o desenvolvimento do país. O setor saúde, consolidado como um dos principais focos das políticas públicas, possui um aparato técnico e profissional para a oferta de bens e serviços. Além do mais, elabora medidas transversais para atender as populações em situações de desigualdade, as quais, portanto, requerem a aplicação de recursos humanos e financeiros (CASTRO, 2013)

- 52 Conforme já observado, os empreendimentos hidrelétricos incorporam um custo social que se distribui pelas diferentes esferas de gestão, sejam elas públicas ou privadas, afetando diretamente as populações mais vulneráveis da região onde implantadas. A situação pode se tornar ainda mais grave diante dos elevados índices de pobreza expressos na ineficiência e escassez dos serviços de saúde, saneamento e habitação.
- 53 Nesse aspecto, para que os problemas e conflitos socioambientais sejam avaliados e solucionados, no âmbito dos projetos de desenvolvimento, é premente que as instituições envolvidas elaborem arranjos políticos institucionais mais eficazes. Objetiva-se, assim, a sustentabilidade e o planejamento adequado das ações no território, promovendo melhores condições de vida, ambientais e de saúde para a população.
- 54 Vale destacar que a promoção da saúde e da qualidade de vida dos que vivem nos territórios onde são implantados os projetos de desenvolvimento não é responsabilidade de um único setor, mas compartilhada pelos diversos setores envolvidos e firmada por meio de ações intersetoriais e interdisciplinares, com apoio em políticas públicas eficazes. Com o objetivo de reconhecer, delimitar e propor ações que reduzam diversos problemas sociais no âmbito da saúde e da proteção social – aumento da carga de doenças, falta de acesso ao saneamento e mobilidade urbana –, se faz necessário que as políticas públicas sejam indutoras de soluções efetivas e sustentáveis, assumindo como base os valores éticos, ecológicos e econômicos, inter-relacionados e interdependentes, como determinantes estruturais para a manutenção do valor humano (Figura 6).

Figura 6 – Determinantes estruturais de políticas públicas sustentáveis



Fonte: Silveira, 2016.

- 55 Uma das formas de garantia da integração das iniciativas para a resolução de conflitos e outras externalidades impostas pela implantação das hidrelétricas, assim como para outros projetos de infraestrutura e desenvolvimento, perpassa a promoção de espaços de articulação permanentes, com a participação de atores políticos e sociais nas políticas públicas para a construção de territórios mais saudáveis e sustentáveis. Assim sendo, a capacidade institucional e política local deve estar em sinergia com as esferas governamentais – federal, estadual e municipal –, as instituições e o capital humano, para a plena capacidade de gestão das demandas sociais.
- 56 Trata-se de aspecto que adquire maior importância à medida que as políticas econômicas e ambientais não se dissociem das políticas de proteção social. Desse modo, é possível assegurar o equilíbrio das relações entre a sociedade e o meio ambiente, resguardando os direitos e deveres. A partir de então, se poderá alcançar a devida sustentabilidade das ações de (re)estruturação do território.

Conclusões

- 57 Diante dos elementos até aqui ressaltados, observa-se que as populações locais, em suas práticas sociais e saberes, se encontram em situações de desequilíbrio em seu próprio território. Enfatiza-se a percepção de que as obras dos grandes empreendimentos, considerados projetos de desenvolvimento, se transformaram em um grande palco de ações governamentais e empresariais, transgredindo, em grande medida, direitos sociais e étnicos.

- 58 Os projetos de desenvolvimento, a exemplo das hidrelétricas, possuem um grande potencial no sentido de contribuírem e apoiarem a sustentabilidade social e ambiental das comunidades residentes nos territórios em que implantados. Criam, assim, oportunidades para alavancar a cadeia produtiva local por meio das receitas originadas dos royalties, além de incrementarem a infraestrutura de saúde, saneamento, abastecimento de água, gestão de resíduos, dentre outros serviços sociais. No entanto, para que isso aconteça é necessária uma articulação política institucional para a construção de agendas que orientem o desenvolvimento sustentável, com a elaboração de ações articuladas entre os atores políticos das três esferas de poder público, assim como o setor privado e a sociedade civil organizada, para a construção de diálogos.
- 59 A fim de se reduzirem os problemas nos territórios afetados, o Estado, principalmente quando figura como detentor do projeto, precisa agir antecipadamente, por meio de medidas políticas mais eficazes. Para tanto, essas ações preventivas devem considerar a ética como princípio, sobretudo quando os impactos da geração de energia se concentram sobre determinadas regiões e suas populações específicas. Os bancos financiadores, a exemplo do BNDES, deveriam assumir sua parcela de responsabilidade sobre os riscos sociais e ambientais no escopo da oferta de financiamento aos empreendedores, no sentido de ultrapassar a lógica do custo/benefício, incorporando também os custos sociais nos projetos financiados por esta instituição pública.
- 60 Pensar o território como área delimitada e estanque não se apresenta como suficiente para a devida compreensão dos processos que nele ocorrem de forma entrelaçada. Mostra-se essencial reconhecer os atores sociais locais e legitimá-los a participar das estratégias de ação adequadas às suas necessidades. Há de se considerar a dimensão espacial e temporal dos impactos de maneira a incorporar a dinâmica dos processos sociais, econômicos, políticos e ambientais. Permite-se, desse modo, que os acordos entre as partes, os compromissos e responsabilidade assumidos sejam cumpridos efetivamente, visando a redução dos impactos socioambientais e seus reflexos profundos na qualidade de vida das diferentes populações que habitam as áreas afetadas pelos empreendimentos hidrelétricos.
- 61 A nova proposta de uma agenda global sobre os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) a ser implementada até 2030 abarca, entre seus dezessete objetivos, aspectos como saúde, água e saneamento; energia; padrões de produção e consumo; clima; uso da terra e biodiversidade, os quais se relacionam diretamente com o tripé desenvolvimento, ambiente e sociedade (ONU, 2015). Considerando tal proposta, não há como assumir um planejamento e a construção de novos empreendimentos sem se discutir a importância dessa integração no contexto do desenvolvimento sustentável. Nesse sentido, porém, o papel do setor saúde, nos processos de licenciamento ambiental de empreendimentos, ainda se mostra incipiente. O diagnóstico sobre as condições de vida e a situação de saúde não deveria ser tratado como conteúdo desarticulado do território de análise, e sim “estar relacionado ao trinômio estratégico: informação-decisão-ação” (GONDIM et al, 2008). Consequentemente, possibilita-se a contribuição participativa na tomada de decisões, com a adequada identificação de estratégias de ação nas diferentes dimensões das necessidades sociais.
- 62 Tendo em vista os aspectos abordados, a visão direcionada apenas ao desenvolvimento econômico, distante das questões sociais e ambientais das regiões que sofrem tais impactos, não é suficiente para viabilizar projetos de desenvolvimentos dessa magnitude em um cenário de sustentabilidade. Assim sendo, um modelo de desenvolvimento que não

assume a devida responsabilidade social e ambiental se consolida como indutor de externalidades socioambientais, as quais são deduzidas das mesmas populações que cedem seus territórios aos grandes empreendimentos ou que têm sua dinâmica territorial profundamente alterada por estes empreendimentos.

- 63 A elaboração de um novo modelo econômico e tecnológico, com bases ecológica e socialmente mais justas e sustentáveis para o desenvolvimento social e econômico do País, é expectativa demonstrada por muitos. Nesse sentido, os bancos financiadores, a exemplo do BNDES, deveriam conceder maiores incentivos para impulsionar a elaboração de tais iniciativas no âmbito de diversos setores da sociedade e da economia, na expectativa de se contribuir ao desenvolvimento verdadeiramente sustentável. Apesar de o BNDES não ser signatário dos Princípios do Equador que trata dos riscos sociais e ambientais no financiamento de projetos de desenvolvimento, o escopo da oferta de financiamento deveria ultrapassar a lógica do custo benefício, e incorporar também os custos sociais nos projetos financiados por esta instituição pública.
- 64 Os autores agradecem a iniciativa do projeto RELAIS: Regional Epidemiological Landscape Amazon Information System (CNPQ/IRD/UFRJ), a Secretaria de Vigilância em Saúde do Ministério da Saúde do Brasil, e a equipe da UMR ESPACE-DEV do Institut de Recherche pour le Développement (IRD) e do Laboratório de Geografia, Ambiente e Saúde da Universidade de Brasília (UnB).

BIBLIOGRAFIA

- Acseirad H., Mello C. Elementos para análise do RIMA de Belo Monte à luz das conclusões e recomendações do projeto Avaliação de Equidade Ambiental. In: Magalhães, S. M. S. B.; Hernandez F. M. (Org.). Painel de Especialistas: Análise Crítica do Estudo de Impacto Ambiental do Aproveitamento Hidrelétrico de Belo Monte. Belém, 2009. https://www.socioambiental.org/banco_imagens/pdfs/Belo_Monte_Painel_especialistas_EIA.pdf%20%20 Acesso em: 02/03/2014.
- Andrade, A. O desafio do licenciamento ambiental de usinas hidrelétricas no Brasil. Revista Brasileira de Energia, vol. 17, n. 2, p.177-190, 2011.
- Bermann, C. Entrevista. A energia hidrelétrica não é limpa, nem barata. In: Viomundo. Publicada em 03 de junho de 2010. Disponível em: <http://www.viomundo.com.br/entrevistas/bermann-a-energia-hidreletrica-nao-e-limpa-nem-barata.html>. Acesso em: 10/04/2014.
- Bessa, N.G.F.; Pereira, A.G.; Zitzke, V.A. Foro de Negociação e Comitês de Co-gestão em empreendimentos hidrelétricos no Brasil. Sustentabilidade em Debate, vol. 2, n. 2. 2011.
- Brasil. Ministério do Meio Ambiente. Ministério do Meio Ambiente. Consultoria Jurídica. Legislação Ambiental Básica. Consultoria Jurídica. UNESCO. 350 p. Brasília, 2008.
- _____. Ministério Público Federal. Relatório de Inspeção Interinstitucional: áreas ribeirinhas atingidas pelo processo de remoção compulsória da UHE Belo Monte. Altamira/PA, 2015a. Disponível em: <http://www.prpa.mpf.mp.br/news/2015/mpf-divulga-relatorio-sobre-remocao-de-ribeirinhos-pela-hidreletrica-de-belo-monte>. Acesso em: 27/12/2015.

_____. Ministério Público Federal. Audiência Pública realizada em Altamira. Altamira/PA, 2015b. Disponível em: http://noticias.pgr.mpf.mp.br/noticias/noticias-do-site/copy_of_indios-e-minorias/mpf-pa-sem-cumprir-condicionantes-belo-monte-provoca-o-caos-na-saude-indigena-no-xingu/?searchterm=Belo%20Monte. Acesso em: 02/09/2015.

Bursztyn, M; Bursztyn, M.A. Fundamentos de políticas e gestão ambiental: os caminhos do desenvolvimento sustentável. Garamond. Rio de Janeiro.2012.

Castro, I. E. Instituições e território. Geosul, v.18, n.36, p 7-28, 2003.

Castro, J. A. Saúde e desenvolvimento no Brasil. In: Cohn A. (org.) Saúde, cidadania e desenvolvimento. Centro Internacional Celso Furtado. 1ª. Ed. 240 p. Rio de Janeiro, 2013.

Conectas Direitos Humanos. Desenvolvimento para as pessoas? O financiamento do BNDES e os Direitos Humanos. 1ª edição. São Paulo, 2014. Disponível em: http://www.conectas.org/arquivos/editor/files/Conectas_BNDES%20e%20Direitos%Humano_s_Miolo_Final_COMPRIMIDO.pdf. Acesso em: 10/11/2015.

FGV. Fundação Getúlio Vargas. Centro de Estudos em Sustentabilidade (GVces). Indicadores de Belo Monte. Câmara Técnica de Monitoramento das Condicionantes – PDRSX. Resumo dos resultados de junho de 2014 a julho de 2015.

Fleury, L.C. Conflito ambiental e cosmopolíticas na Amazônia brasileira: a construção da Usina Hidrelétrica de Belo Monte em perspectiva. 2013. 320f. Tese (Doutorado em Sociologia) – Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Programa de Pós-Graduação em Sociologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

Gomide, A. A. Condicionantes institucionais à execução de projetos de investimentos em infraestrutura: uma nota de pesquisa. Boletim de Análise Político-Institucional, n. 7, jan.-jun., Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), Brasília, 2015.

Gondim, G. M. M.; Monken, M.; Rojas, L. I.; Barcellos, C.; Peiter, P.; Navarro, M.; Gracie, R. O Território da Saúde: A organização do sistema de saúde e a territorialização In: Miranda, A.C.; Barcellos, C.; Moreira, J.C.; Monken, M. (Orgs.). Território, ambiente e saúde. Rio de Janeiro: Editora Fiocruz, 2008.

IHU. Instituto Humanitas Unisinos. Disponível: <http://www.ihu.unisinos.br/entrevistas/40735-belo-monte-e-seus-impactos-sobre-os-povos-indigenas-entrevista-especial-com-ricardo-verdum>. Acesso em: 26/01/2012.

ISA. Instituto Socioambiental. Dossiê Belo Monte – Não há condições para a Licença de Operação. Junho de 2015. Disponível: <https://www.socioambiental.org/sites/blog.socioambiental.org/files/dossie-belo-monte-site.pdf>. Acesso em: 15/12/2015.

MAB. Movimento dos Atingidos por Barragens. Água e energia não são mercadorias! ". Entrevista especial: "Falta clareza nas licenças ambientais de Belo Monte, 23/02/2011. Disponível em: <http://www.mabnacional.org.br/search/node/Belo%20Monte> Acesso em: 23/08/2014.

Magalhães, S. M. S. B.; Hernandez F. M. (Orgs.). Análise Crítica do Estudo de Impacto Ambiental do Aproveitamento Hidrelétrico de Belo Monte (Painel de Especialistas). Belém, 2009.

Manyari, W. V. Impactos ambientais a jusante de hidrelétricas, o caso da usina de Tucuruí, PA. 2007. 211f. Tese (Doutorado em Planejamento Energético e ambiental) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

Mitchell, B. Geography and Resources Analysis. New York: Longemans, 1979.

Oliveira, J. P.; Cohn, C. (Orgs.). Belo Monte e a questão indígena. Brasília: ABA, 2014.

- ONU. Organização das Nações Unidas (ONU- BRASIL). Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/> Acesso em: 20/02/2017.
- Paz, L. R. L. Hidrelétricas e Terras Indígenas na Amazônia: Desenvolvimento Sustentável? 232p. Tese (Doutorado em Planejamento Energético) - COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro-UFRJ, Rio de Janeiro, 2006.
- Peiter, P. C.; Barcellos, C.; Rojas, L. B. I.; Gondim, G. M. M. Espaço Geográfico e Epidemiologia. In: Santos, S. M.; Barcellos, C. (Orgs.). Abordagens espaciais na saúde pública. Brasília: Ministério da Saúde/Fundação Oswaldo Cruz, 2006.
- Rosa, L.P.; Sigaud, L; Mielnik, O. Impactos de grandes projetos hidrelétricos e nucleares: aspectos econômicos e tecnológicos, sociais e ambientais. São Paulo. AIE/COPPE; Marco Zero, CNPQ, 199p., 1988.
- Sabbag, O. J. Impactos da construção da UHE “Três Irmãos” sobre a atividade de mineração: importância de uma gestão ambiental. 2006. 136 f. Tese (doutorado). Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2006.
- Santos, M. C. O conceito de “atingido” por barragens – direitos humanos e cidadania. Revista Direito & Praxis. Vol. 06, n. 11, p. 113-140. Rio de Janeiro, 2015.
- Silveira, M. A implantação de hidrelétricas na Amazônia brasileira, impactos socioambientais e à saúde com as transformações no território: o caso da UHE de Belo Monte. 2016. 212f. Tese (Doutorado em Geografia) – Pós-Graduação em Geografia, Universidade de Brasília-UnB, Brasília, 2016.
- WCD. World Commission on Dams. Dams and development. A new framework for decisionmaking. The Report of the World Commission on Dams. London: Earthscan Publications, 2000.
- Zhou A; Oliveira, R. Desenvolvimento, Conflitos Sociais e Violência no Brasil Rural: o caso das usinas hidrelétricas. Ambiente & Sociedade, v. X, n. 2 p. 119-135, 2007.

NOTAS

1. Existem poucas iniciativas no país para o uso da metodologia de Avaliação de Impacto à Saúde (AIS), preconizada pela OMS. A avaliação de impactos à saúde no Brasil, é comumente realizada de forma pontual nos processos de licenciamento ambiental de empreendimentos (SILVEIRA, 2016).
2. *International Financial Corporation* (IFC), braço do Banco Mundial, iniciou articulação internacional em 2002 para o lançamento dos Princípios do Equador, pelos quais instituições financeiras signatárias devem realizar avaliação socioambiental dos projetos financiados (REPÓRTER BRASIL, 2011).

RESUMOS

O presente artigo apresenta uma discussão sobre as questões intrínsecas às tomadas de decisão que interferem na sustentabilidade socioambiental e na saúde das populações frente aos impactos com a implantação de hidrelétricas na Amazônia brasileira. A partir do caso da hidrelétrica de Belo Monte, pode-se observar como os processos de licenciamento ambiental no Brasil se fundamentam no controle e mitigação dos impactos de um projeto de forma isolada, sem considerar as especificidades dos povos locais. A construção de hidrelétricas, que ocupa grandes extensões territoriais, transfere os prejuízos aos segmentos sociais mais vulneráveis como as populações ribeirinhas e comunidades étnicas. Este estudo aponta para a necessidade de um planejamento eficiente para a utilização dos recursos naturais, assim como ações na região para mitigar os principais conflitos. As políticas de desenvolvimento estabelecidas quando implantadas desestruturam a lógica de organização local, aumentando os problemas ambientais e sociais na área, com reflexos sobre a saúde e a qualidade de vida. Concluiu-se que, o enfrentamento dos problemas de modo a garantir a integração das iniciativas para a resolução das externalidades impostas pela implantação das hidrelétricas demanda visão ampliada e políticas públicas integradas de saúde, meio ambiente e desenvolvimento ético.

Cet article présente une discussion sur les questions inhérentes aux décisions qui interfèrent avec la durabilité environnementale et la santé des populations à travers l'impact de la mise en œuvre de l'hydroélectricité en Amazonie brésilienne. Dans le cas du barrage hydroélectrique de Belo Monte, on peut observer comment le processus d'autorisation environnementale au Brésil est basé sur le contrôle et l'atténuation des impacts d'un projet en isolant les aspects sociaux, sans tenir compte des spécificités de la population locale. La construction de centrales hydroélectriques, qui occupe de vastes étendues territoriales, transfère les dommages aux groupes sociaux les plus vulnérables comme les communautés côtières et les communautés ethniques. Cette étude souligne la nécessité d'une planification efficace de l'utilisation des ressources naturelles, ainsi que des actions dans la région pour atténuer les principaux conflits. En ce qui concerne ce cas, les politiques de développement sans processus participatif, lorsqu'elles sont mises en œuvre, déstructurent la logique de l'organisation locale, augmentant les problèmes environnementaux et sociaux dans la région, ce qui a des répercussions sur la santé et la qualité de vie. En conclusion, pour faire face à ces types de problèmes et de défis, comme, qui impliquent la construction de barrages, il est nécessaire un large processus de participation, avec une vision élargie et l'intégration des politiques publiques sur la santé, l'environnement et l'éthique du développement.

This article presents a discussion of the issues inherent in the decisions that interfere with environmental sustainability and the health of populations across the impact with the implementation of hydropower in the Brazilian Amazon. From the case of the Belo Monte hydroelectric dam, one can observe how the process of environmental licensing in Brazil is based on the control and mitigation of impacts of a project by isolating social aspects, without considering the specificities of the local people. The construction of hydroelectric power plants, which occupies large territorial extensions, transfers the damage to the most vulnerable social groups as coastal communities and ethnic communities. This study points to the need for

effective planning for the use of natural resources, as well as actions in the region to mitigate the main conflicts. Regarding this case, development policies without the participatory process, when implemented de-structure the logic of local organization, increasing the environmental and social problems in the area, causing repercussions on the health and quality of life. By concluding, to face these kinds of problems and challenges, as, that involve dam construction, it is necessary a wide process of participation, with an expanded view and integration of public policies on health, environment, and ethics of the development.

ÍNDICE

Palavras-chave: Território, Sustentabilidade, Hidrelétricas, Belo Monte, Avaliação de Impacto, Avaliação de Impacto à Saúde.

Mots-clés: Territoire, Développement Durable, Hydroélectrique, Belo Monte, Évaluation de l'impact, Évaluation de l'impact sur la Santé

Keywords: Territory, Sustainability, Hydropower, Belo Monte, Impact Assessment, Health Impact Assessment

AUTORES

MISSIFANY SILVEIRA

Programa de Promoção da Saúde, Ambiente e Trabalho, Gerencia Regional de Brasília, Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz) e LAGAS, Departamento de Geografia, Universidade de Brasília (UnB), fanysil@gmail.com

MARIO DINIZ DE ARAÚJO NETO

Departamento de Geografia, Universidade de Brasília (UnB), mdzan@unb.br

HELEN GURGEL

LAGAS, Departamento de Geografia, Universidade de Brasília (UnB), helengurgel@unb.br

LAURENT DURIEUX

UMR Espace-DEV, Institut de Recherche pour le Développement (IRD), laurent.durieux@ird.fr

Apports de la combinaison d'images satellites optique et RADAR dans l'étude des maladies à transmission vectorielle : cas du paludisme à la frontière Guyane française – Brésil

Contributions of the combination of optical and RADAR satellite images in the study of vector-borne diseases: the case of malaria at the border between French Guiana and Brazil

Contribuições da combinação de imagens ópticas e de RADAR no estudo de doenças transmitidas por vetores: o caso da malária na fronteira entre a Guiana Francesa e o Brasil

Thibault Catry, Auréa Pottier, Renaud Marti, Zhichao Li, Emmanuel Roux, Vincent Herbreteau, Morgan Mangeas, Laurent Demagistri, Helen Gurgel e Nadine Dessay

Introduction

- 1 Le paludisme est considéré comme l'une des trois premières maladies les plus coûteuses en vie humaine (Bourzac, 2014). En dépit des politiques sanitaires menées aux niveaux nationaux et internationaux, cette maladie reste un problème de santé publique majeur avec 445 000 décès en 2016 répartis dans 91 pays, principalement dans les régions tropicales (OMS, 2017, figure 1). En 2016, on recense un total de 216 millions de cas déclarés à l'échelle globale, soit une augmentation de 5 millions par rapport à 2015 (OMS, 2017).

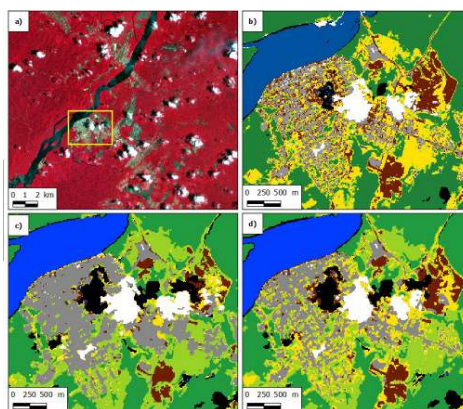
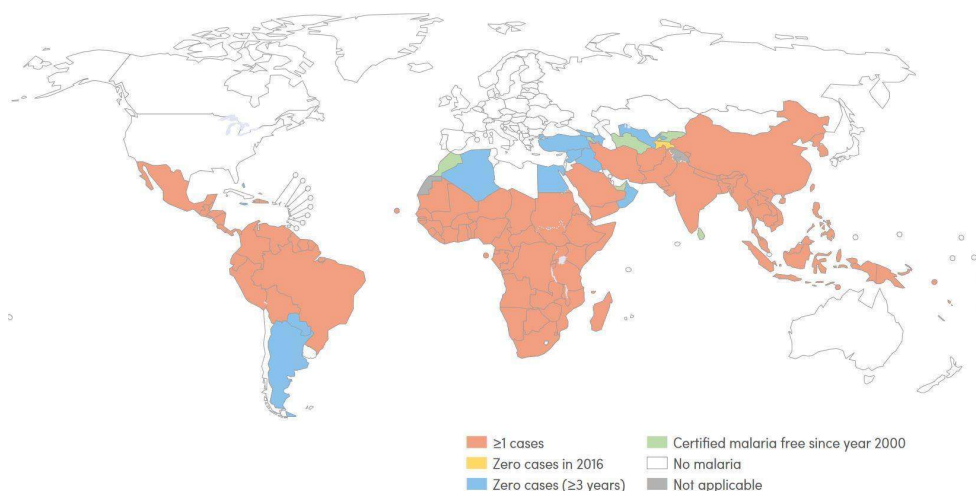


Figure 1 : Evolution de la répartition mondiale de cas indigènes de paludisme entre 2000 et 2016



Fonte : OMS, 2017.

- 2 Cette maladie infectieuse est endémique de la zone intertropicale avec 80% des cas de paludisme recensés en Afrique. L'Amérique latine et le bassin amazonien sont également exposés. Les territoires associés aux frontières de l'amazonie brésilienne présentent des situations critiques et cumulent des problèmes sanitaires (inégalités d'accès aux soins, logements précaires), socio-démographiques (intensification des mouvements migratoires et immigration clandestine, isolation de certaines populations, accroissement démographique), environnementales (déforestation, orpaillage, urbanisation) et politiques (difficulté de mettre en place une stratégie commune entre les deux pays) (Peiter, 2007). La frontière entre la Guyane française et l'état d'Amapa est représentative de ces situations et constitue un cas d'étude particulièrement pertinent.
- 3 Si les variables météorologiques occupent une place importante dans la distribution spatio-temporelle du vecteur, la répartition des types d'occupation du sol – dimension peu étudiée – joue également un rôle majeur dans la distribution et la densité vectorielle. Certains types d'occupation du sol en particulier influent sur la distribution et la densité des anophèles, en lien avec le risque de transmission du paludisme (Vittor et al., 2006; Vittor et al., 2009; Stefani et al., 2013). Les facteurs d'exposition aux vecteurs du

paludisme sont très largement liés aux changements d'environnements associés. Dans ce type de contexte, il a été montré que les facteurs de risques de nature environnementale (distance des habitations par rapport à la rivière et à la forêt et défrichement de la végétation) sont primordiaux (Stefani et al., 2011a et b). Néanmoins, ces relations restent encore mal comprises, principalement à cause du manque de données à des échelles et des résolutions spatiales et temporelles adaptées. D'autre part, l'intensification des mouvements migratoires et l'extension des activités humaines augmentent le risque d'exposition au paludisme, en favorisant les contacts entre le vecteur et les êtres humains (migration pendulaire) et en réduisant la distance à parcourir entre le lieu d'habitation des êtres humains et le lieu de repos des vecteurs. La télédétection satellite permet d'acquérir de manière régulière ou programmable, et à des coûts accessibles pour la communauté scientifique et les acteurs institutionnels nationaux, des données d'imagerie en lien avec l'occupation du sol. Elle apparaît comme un outil particulièrement adapté pour des zones étendues, où les déplacements terrestres sont rendus difficiles par la végétation et le manque de routes. Une limite majeure de la télédétection optique en milieu tropical reste cependant l'enneigement très fréquent. Les données issues de capteurs de type RADAR à synthèse d'ouverture présentent l'avantage d'être peu perturbés par les conditions atmosphériques. De nombreux RSO sont actuellement en orbite et opérationnels : Sentinel 1A et 1B, Terrasar-X, Cosmo-Skymed, ALOS-2, et Radarsat-2. D'autres missions sont planifiées dans les années à venir. Cette diversité des capteurs permet l'acquisition de données de différentes résolutions spatiales, longueurs d'onde, temps de revisite, et polarisations. Avant l'apparition des capteurs évoqués, le coût d'acquisition des images RADAR était un réel frein à leur utilisation dans le cadre de projets de recherche. Désormais, les données Sentinel 1 sont mises à disposition librement par l'Agence Spatiale Européenne (ESA) pour tous les utilisateurs. La plupart des données d'archives sont également disponibles librement (ERS-1 et 2, ALOS-1, etc.). Cette politique d'ouverture et de mise à disposition des données répondent à des directives à l'échelle européenne afin de faciliter le recours à la télédétection pour traiter diverses problématiques, notamment dans le domaine de la santé publique.

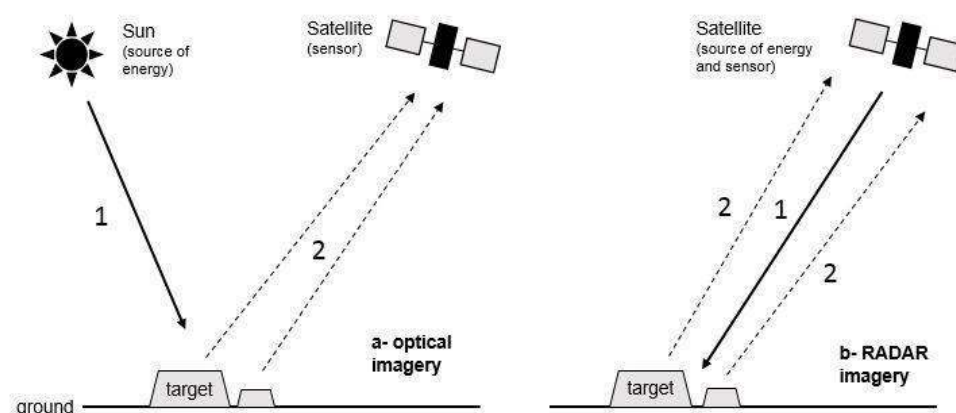
- 4 La première partie de cet article propose un rappel en télédétection satellite en présentant les spécificités respectives des capteurs optiques et RADAR. Les liens entre les grandeurs mesurables par télédétection et les facteurs d'exposition au vecteur du paludisme sont exposés dans la deuxième partie. Enfin, un cas d'étude est proposé en troisième partie pour illustrer l'intérêt de combiner les approches optiques et RADAR dans la cartographie de l'occupation du sol d'une zone difficile d'accès, à la frontière Guyane française-Brésil. La région amazonienne, du fait de la rencontre des difficultés d'identification des espaces de production du risque vectoriel, de transmission du paludisme d'une part et des contraintes liées à l'utilisation d'imagerie satellitale d'autre part, représente un exemple particulièrement didactique et d'intérêt majeur pour expliquer la méthode et montrer la plus-value que l'on peut espérer de son application (Machault et al., 2011; Ferguson et al., 2010).

Le suivi par images de télédétection : apport de l'imagerie RADAR

- 5 L'exploitation des images optiques est principalement conditionnée par l'étendue de la couverture nuageuse. L'utilisation des données issues de l'imagerie RADAR permet de

s'affranchir de ce problème, avec la possibilité d'acquérir des données nuit et jour, sans que l'amplitude du signal soit significativement perturbée par les conditions atmosphériques. Un RADAR à Synthèse d'Ouverture (RSO ou SAR en anglais) est un capteur actif (aéroporté ou satellite) à visée oblique, qui émet un signal électromagnétique en continu dans une longueur d'onde spécifique (gamme des micro-ondes). Contrairement aux capteurs optiques, les RSO génèrent leur propre source d'énergie et le capteur reçoit l'énergie rétrodiffusée (transmise) depuis la cible au sol (Figure 2). La mesure du signal réfléchi permet d'évaluer différentes propriétés géométriques et physiques caractéristiques des surfaces imagées, en lien avec la rugosité, le type de matériau et la teneur en humidité. Les caractéristiques de la surface imagée déterminent le coefficient de rétrodiffusion de l'onde, et donc le niveau d'énergie reçu en retour par le capteur RADAR. Cette énergie étant évaluée pour une longueur d'onde électromagnétique spécifique, les images RADAR sont en niveaux de gris. Les forêts apparaissent généralement dans une teinte claire, avec des niveaux de gris plutôt élevés et homogènes. Les prairies, qui sont des surfaces lisses, apparaissent plus sombres, de même qu'un plan d'eau peu agité.

Figure 2 : Principe de fonctionnement des satellites passifs (optiques) et actifs (RSO/SAR).

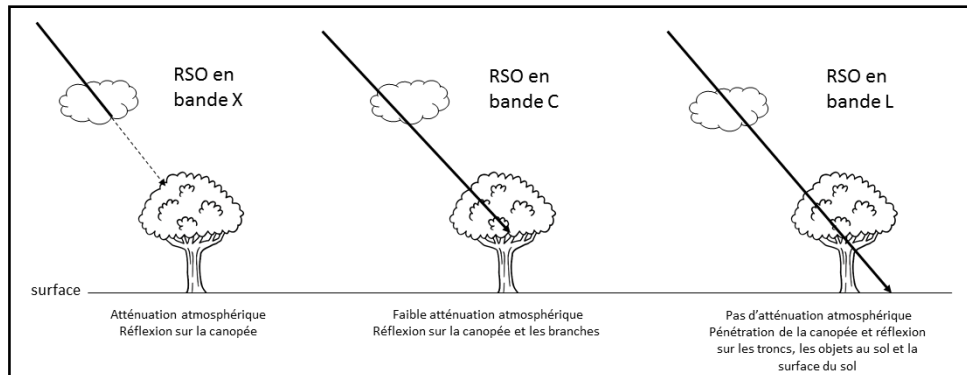


1 = ondes transmises, 2 = ondes reçues (Catry et al., 2018).

- 6 Les capteurs RSO sont définis par les caractéristiques suivantes : résolution spatiale, temps de revisite, bande d'acquisition, et polarisations. D'une manière générale, plus la longueur d'onde du signal est grande, moins l'atmosphère aura d'influence sur le signal enregistré par le capteur RSO : la bande L est insensible à l'atmosphère, la bande C peu sensible, tandis que la bande X peut être fortement atténuée. Les différentes longueurs d'onde des capteurs RSO permettent ainsi d'accéder à différents niveaux d'information :

- en bande X, l'onde est atténuée par l'atmosphère, la pénétration est faible permettant uniquement la caractérisation de la canopée ;
- en bande C, l'atténuation atmosphérique est faible, et la pénétration augmentant, il est possible d'obtenir des informations sur la structure de la canopée (feuilles, branches, etc.) ;
- en bande L, il n'y a pas d'atténuation atmosphérique et il est possible d'obtenir des images des couches situées sous la canopée, et donc de détecter la présence d'eau sous forêt, ce qui est impossible en optique (figure 3).

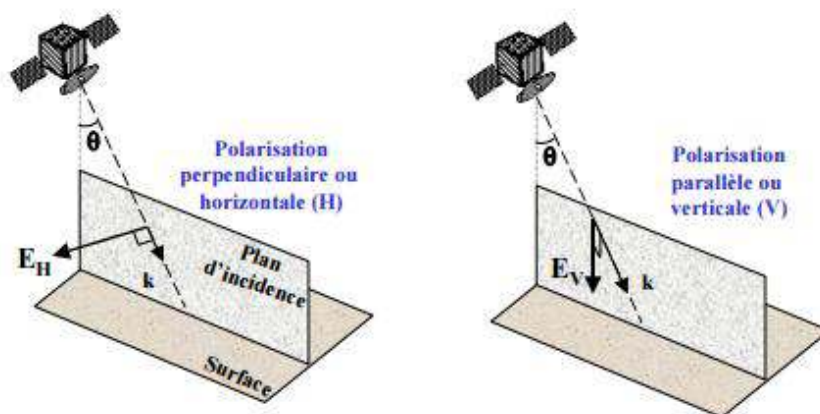
Figure 3 : Atténuation atmosphérique et pénétration du signal RADAR sur les zones humides végétalisées en fonction de la bande de fréquence (X, L, C).



- 7 La polarisation de l'onde est un aspect important dans la compréhension des capteurs RSO. La polarisation représente l'orientation du champ électromagnétique (E) de l'onde par rapport au plan d'incidence, c'est-à-dire le plan perpendiculaire à la surface (Figure 4). La majorité des RSO transmettent des micro-ondes polarisées horizontalement (H) ou verticalement (V). Lorsque la polarisation est dite horizontale, le champ électrique est perpendiculaire au plan d'incidence, alors qu'il lui est parallèle si la polarisation est verticale. Une onde transmise dans l'une de ces polarisations peut générer une onde rétrodiffusée dans diverses polarisations (horizontale, verticale, circulaire). Dans le cas d'une transmission et réception d'ondes polarisées linéairement, on distingue 4 combinaisons de polarisations possibles :

- HH—polarisation transmise et reçue horizontalement
- VV— polarisation transmise et reçue verticalement
- HV— polarisation transmise horizontalement et reçue verticalement
- VH— polarisation transmise verticalement et reçue horizontalement

Figure 4 : Principe de la polarisation radar : polarisation horizontale (H) et verticale (V) (Proisy C., 1999)

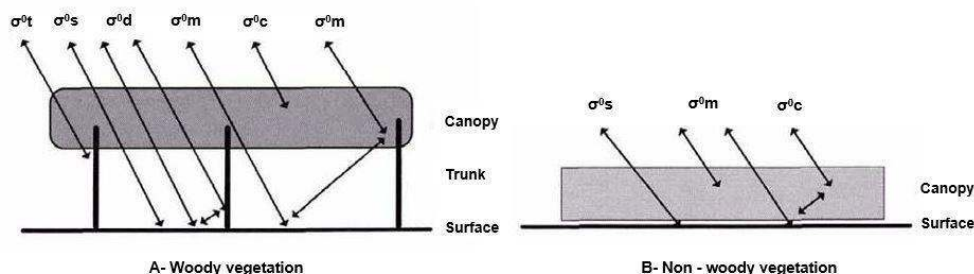


- 8 Tout comme la longueur d'onde, la polarisation de l'onde radar va avoir une influence sur les interactions entre le rayonnement et la cible. Les ondes en polarisation horizontale pénètrent mieux dans le couvert végétal que celles en polarisation verticale. En revanche, celles en polarisation verticale sont plus sensibles à la rugosité du sol. Ainsi, l'utilisation

de données acquises dans différentes polarisations peut permettre d'obtenir des informations complémentaires sur les cibles étudiées.

- 9 La détection et la caractérisation des zones humides végétalisées peut s'avérer délicates en télédétection optique, avec des confusions possibles avec d'autres classes d'occupation du sol. Les images RADAR à synthèse d'ouverture (RSO) sont pour leur part très adaptées à l'étude de ces zones humides, puisque l'intensité du signal rétrodiffusé dépend fortement de la constante diélectrique de la cible (qui décrit la capacité d'un objet à interagir avec l'onde électromagnétique), une grandeur physique qui prend des valeurs caractéristiques très élevées pour les surfaces en eau (Hostache, 2017). En résumé, les caractéristiques du signal rétrodiffusé vers le RSO par une zone humide dépendent :
 - a. de la longueur d'onde, de la polarisation et de l'angle d'incidence de l'onde transmise ;
 - b. de la rugosité du sol ;
 - c. de la biomasse de la végétation ;
 - d. des propriétés diélectriques du sol et de la végétation ;
 - e. de la présence ou absence d'eau libre au sol (inondation).
- 10 Le choix du type de capteur RSO, et des propriétés de polarisation associées, est primordial afin de :
 - distinguer les zones humides des autres classes d'occupation du sol ;
 - discriminer les différents types de zones humides au sein d'un même écosystème.
- 11 La figure 5 résume les interactions entre micro-ondes et zones humides couvertes par différents types de végétation.

Figure 5 : Sources de rétrodiffusion pour une zone humide végétalisée



dans le cas de (A) une végétation arborée et (B) une végétation herbacée. On distingue les coefficients suivants : σ^0_c = rétrodiffusion de la canopée, σ^0_d = rétrodiffusion sol-tronc, σ^0_m = rétrodiffusion sol-canopée, σ^0_s = rétrodiffusion du sol, and σ^0_t = rétrodiffusion du tronc (d'après Wang et al., 1995).

- 12 Généralement, la présence d'eau sous la canopée a tendance à :
 - augmenter la rétrodiffusion totale à cause d'un effet double-rebond sur les structures verticales d'une végétation arborée, notamment pour les RSO en bande L où l'eau sous forêt va apparaître en blanc sur les images ;
 - diminuer la rétrodiffusion totale pour les zones humides herbacées.
- 13 Catry et al. (2018) ont proposé des recommandations pour l'utilisation des propriétés et techniques de la télédétection RADAR afin de caractériser les différents types de zones humides, potentiels gîtes larvaires à Anopheles (tableau 1).

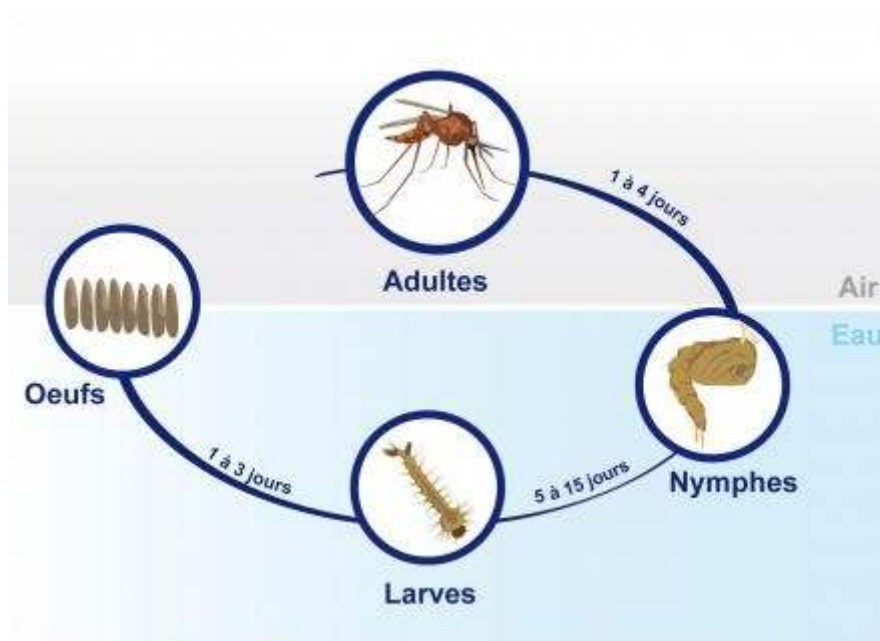
Tableau 1 : Recommandations pour l'utilisation des RSO pour la caractérisation des différents types de zones humides en contexte amazonien (Catry et al., 2018).

RSO : grandeurs physiques	Eau libre	Zones herbacées et humides	Zones humide et forestière	Herbacées vs. Zones humides et forestières	Hauteur d'eau
Longueur d'onde					
Polarisation	X	C	L ou C + L	C + L	
Angle d'incidence					
	VV	HH	VV ou HH	VH ou HV ou combinaison	HH, VH ou HV
RSO : Techniques de mesures					
Intensité rétrodiffusée	Seuil, texture, et segmentation	Approche multi-temporelle	Approche multi-temporelle et multi-incidence	Approche saisonnière	
InSAR					Fortes répétitivité temporelle
Altimétrie					Données directes ou combinaison avec InSAR ou rétrodiffusion
Polarimétrie				HH + HH/HV décompositions Freeman-Dourden et Claude Poitier	Approche multi-temporelle ou angle alpha
Capteurs recommandés (données libres)					
	Sentinel 1	Sentinel 1	Sentinel 1, ALOS-PALSAR	Sentinel 1, ALOS-PALSAR	Sentinel 1, ALOS-PALSAR

Le suivi par télédétection : un outil d'observation de facteurs déterminants du paludisme

- 14 Le paludisme est causé par un parasite du genre Plasmodium, transmis par la piqure des moustiques femelles du genre Anopheles. Parmi les 140 espèces de Plasmodium recensées, seules cinq espèces sont susceptibles d'affecter l'homme. Quatre espèces majeures infectent l'homme : *P. falciparum*, *P. vivax*, *P. ovale*, *P. malariae*, et une cinquième, *P. knowlesi*, intervient très localement chez l'homme en Asie du Sud-Est (WHO 2015). La distribution des anophèles, leur capacité vectorielle, les caractéristiques biologiques des différentes espèces de Plasmodium et les facteurs humains (l'accessibilité aux soins, les systèmes de soins, les mesures de prévention et les types d'habitats), tant au niveau individuel que populationnel, influent sur la distribution géographique et la dynamique spatio-temporelle du paludisme.
- 15 Les larves d'anophèles se développent dans des collections d'eau naturelles ou d'origine anthropique de tailles variables. Le cycle de vie des anophèles comporte quatre stades successifs : l'œuf, la larve, la nymphe et l'adulte (figure 6). Les trois premiers stades se déroulent au-dessous de la surface de l'eau, et le dernier stade est aérien.

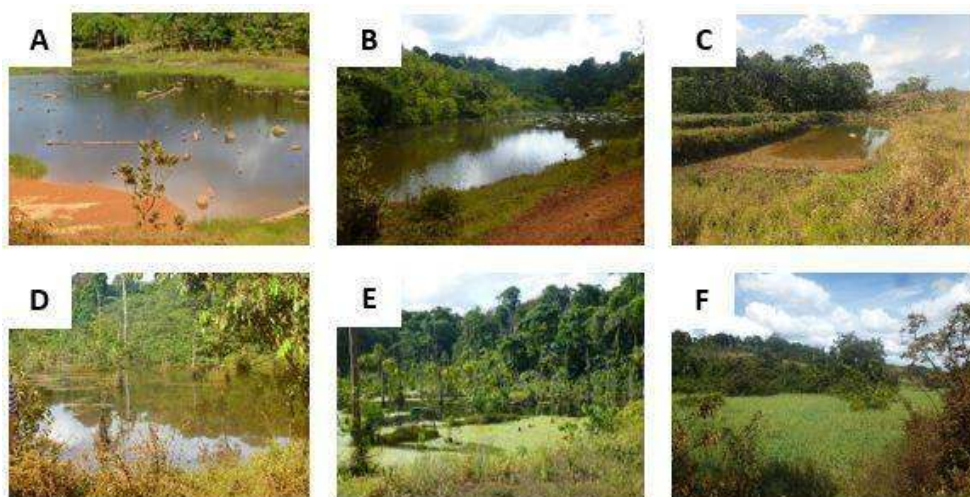
Figure 6 : Quatre stades du cycle de l'anophèle.



Source : <http://www.my-microsite.com/tpe-paludisme/Processus-de-transmission/>

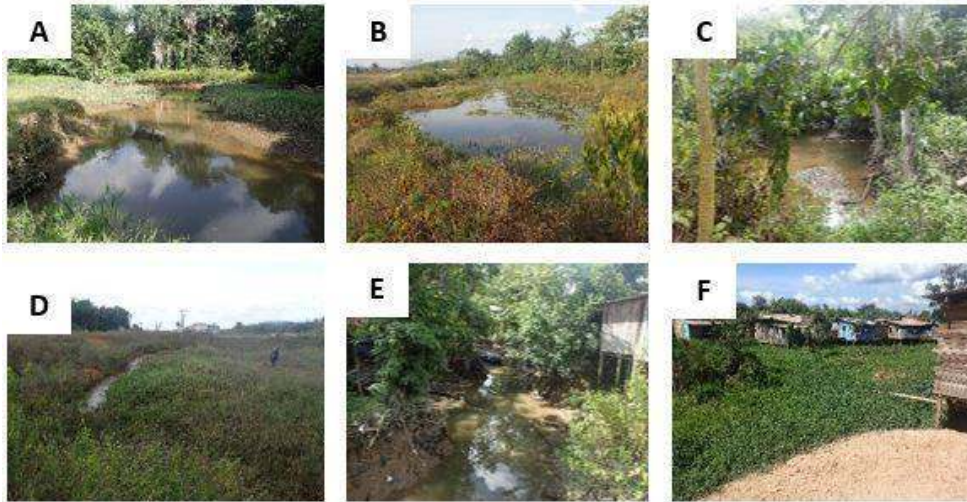
- 16 En se basant sur une revue de la littérature incluant des données d'observation spatiales de la Terre, Sinka et al. (2010) ont classé les gîtes larvaires d'Anopheles en fonction de leur taille, de leur origine naturelle ou anthropique, et de leur nature : étangs, marais, lacs, canaux d'irrigation, puits, fosses, etc. (figure 7 et 8). Des paramètres clés ont été identifiés pour chaque type de gîte : intensité lumineuse, salinité, turbidité, mouvement et végétation (tableau 2).

Figure 7 : Différents types de zones humides végétalisées pouvant constituer des gîtes larvaires à Anopheles, en région Amazonienne, dans une zone forestière rurale.



(A,B) = étangs faiblement végétalisés; (C) = réservoir d'eau anthropique en lisière de forêt; et (D-F) = marais plus ou moins végétalisés avec présence de végétation arborée et herbacée
Catry et al., 2018.

Figure 8 : Différents types de zones humides végétalisées pouvant constituer des gîtes larvaires à anophèles, en région Amazonienne, dans une zone péri-urbaine.



(A) lit de rivière aux bordures végétalisées (B) végétation hétérogène à la surface d'un étang (C) fossé boueux en bordure de route (D) fossé rempli d'eau stagnante en bordure de route (E) lit de rivière avec mélange d'eaux claires et d'eaux usées (F) marais recouvert de végétation herbacée, parsemé de maisons sur pilotis

Catry et al., 2018.

Tableau 2 : Caractéristiques principales des gîtes larvaires des vecteurs primaires et secondaires du paludisme en Amazonie

Vecteur	Intensité lumineuse	Salinité	Turbidité	Mouvement de l'eau	Végétation	Statut du vecteur	Distribution
<i>An. darlingi</i>	faible	faible	eau claire	variable	oui	primaire	Amazonie
<i>An. nuneztovari</i>	variable	faible	eau claire	variable	oui	secondaire	Amazonie brésilienne, Venezuela
<i>An. marajoara</i>	variable	faible	eau claire	variable	oui	secondaire	Amazonie brésilienne, Venezuela
<i>An. albittarsis</i>	haute	faible	variable	immobile ou stagnante	oui	secondaire	Amazonie brésilienne, Venezuela
<i>An. brasiliensis</i>	faible	faible	eau claire	variable	oui	secondaire	Amazonie brésilienne
<i>An. oswaldoi</i>	faible	faible	eau claire	variable	oui	secondaire	Amazonie brésilienne, Venezuela, Colombie, Pérou
<i>An. triannulatus</i>	faible	faible	eau claire	variable	oui	secondaire	Amazonie brésilienne, Amérique centrale et du Sud

Sinka et al., 2010 ; Catry et al., 2018.

- 17 Parmi les 41 espèces d'*Anopheles* décrites par Sinka et al. (2010), seules 9 sont présentes sur le continent américain. Le vecteur principal du paludisme humain en Amazonie est *Anopheles darlingi* (Sinka et al., 2010 ; Girod et al., 2011) et les vecteurs secondaires incluent des espèces telles que *Anopheles marajoara* (Galvão and Damasceno, 1942), *brasiliensis* (Chagas, 1907), *oswaldoi* (Peryassu, 1922), *nuneztovari* (Galbadón, 1940) or *trianulatus* (Neiva and Pinto, 1922) (Mouchet, 2004; Hiwat and Breitas, 2011; Stefani et al., 2013).

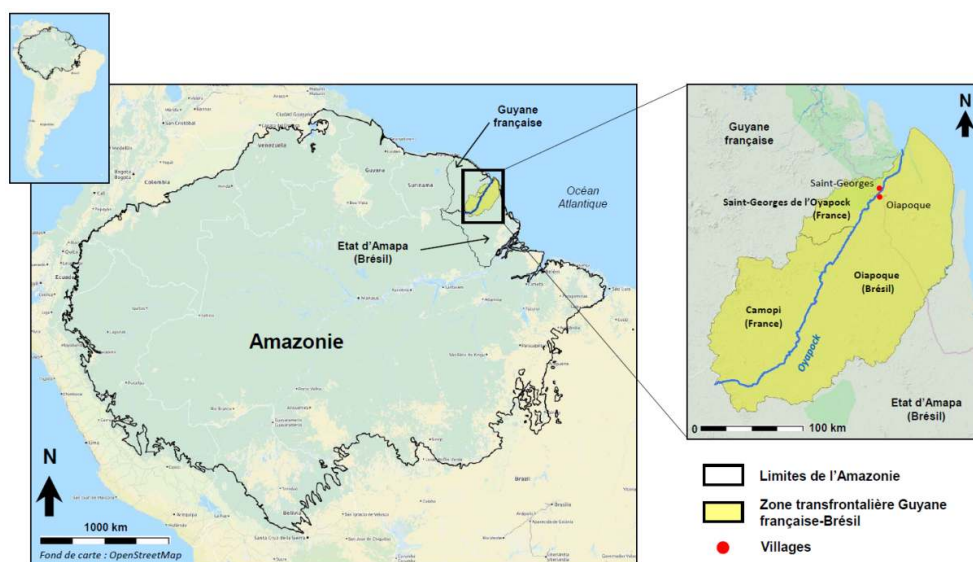
- 18 La forêt est un environnement abritant des sites de repos privilégiés pour les anophèles adultes après un repas sanguin (Tadei et al., 1998). C'est un habitat favorable à la présence des vecteurs de transmission du paludisme (Rosa-Freitas et al., 2007).
- 19 Parmi les nombreux facteurs déterminant la transmission du paludisme, certains sont quantifiables par des approches de télédétection. On distingue notamment :
- les facteurs météorologiques et climatiques : variation des précipitations et de la température ;
 - les facteurs démographiques : répartition et densité de la population (à partir de l'identification des formes de bâti);
 - les facteurs environnementaux : mode d'occupation du sol, déforestation, distribution des eaux de surface, urbanisation, pratiques culturelles et élevage, etc.

Un Cas d'étude : le paludisme à la frontière Guyane française – Brésil

Zone d'étude

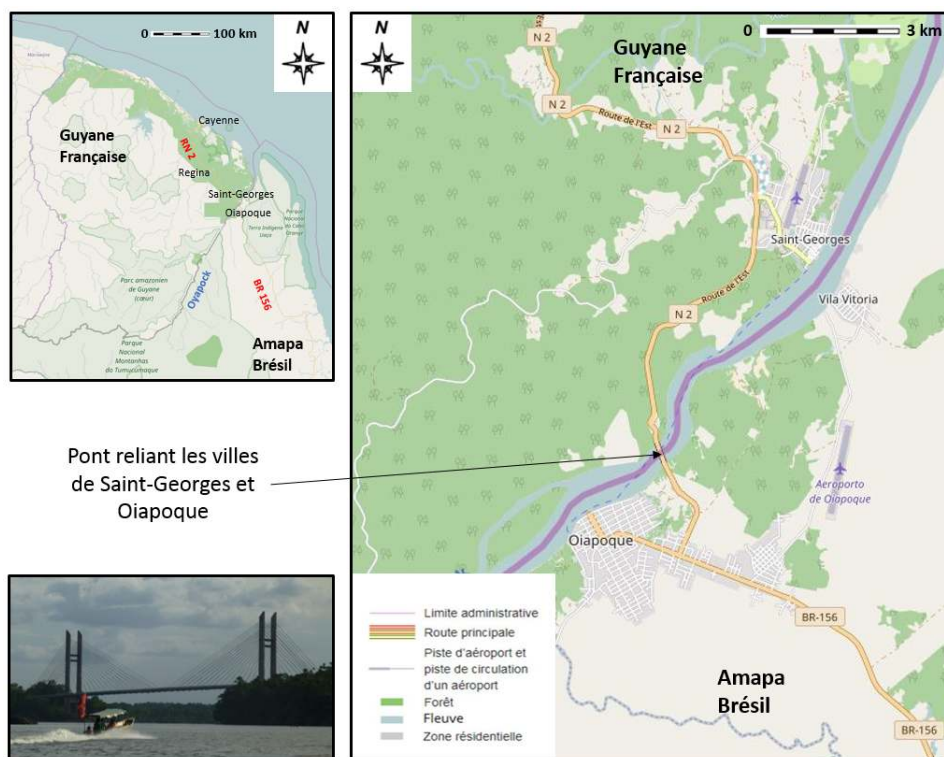
- 20 La zone d'étude se situe dans le bassin amazonien et s'inscrit dans le contexte frontalier Guyane française–Brésil, délimitée par le fleuve Oyapock (figure 9).

Figure 9 : La zone d'étude, située à la frontière entre la Guyane française et le Brésil (état d'Amapa), en contexte amazonien.



- 21 Ce territoire est composé de deux villes principales : Saint-Georges, côté français, et Oiapoque, côté brésilien (figure 10). Ces deux villes sont situées de part et d'autre du fleuve Oyapock, frontière naturelle entre les deux pays.

Figure 10 : Situation géographique de la zone transfrontalière entre la Guyane française et le Brésil, avec les villes de Saint-Georges de l'Oyapock et Oiapoque, de part et d'autre du fleuve Oyapock



fond Openstreetmap, Photo: T.Catry.

- 22 Le climat de la zone d'étude est de type tropical-humide, alternant entre une saison des pluies d'avril à juin, une saison sèche de juillet à novembre, une saison des pluies (dite "petite" saison des pluies) de décembre à février et une courte saison sèche aux alentours du mois de mars (dite "petit été de mars"). On mesure un taux moyen d'humidité supérieur à 80%, et une température moyenne annuelle de 26°C. Les précipitations moyennes annuelles sont de 3 400 mm.

Données de télédétection

- 23 Ce cas d'étude exploite des données d'imagerie optique et RADAR issues de différents capteurs. Leurs caractéristiques techniques sont résumées dans le tableau 3.

Tableau 3 : Caractéristiques techniques des images optique et RADAR issues des capteurs Sentinel 1, Sentinel 2, ALOS et Pléiades utilisées dans cette étude.

Satellite	Niveau de produit	Type	Fauchée	Bande spectrale / Polarisation ¹	Résolution spatiale	Résolution temporelle
Sentinel-1	GRD	Radar C	250 km	VV+VH	10 m	6 à 12 jours
Sentinel-2	Level-1C	Optique	290 km	13 bandes	10 à 60 m	5 à 10 jours
ALOS	RTC	Radar L	70 km	HH+HV	10 à 20 m	46 jours
Pléiades	Niveau 0	Optique	20 km	B-V-R-PIR-P	P : 0.5 m MS : 2 m	1 à 7 jours

GRD = Ground Range Detected, RTC = Radiometrically Terrain Corrected, P = Panchromatique (noir et blanc), MS = Multi-spectral (plusieurs bandes en couleur), B = bleu, V = vert, R = rouge, PIR = Proche Infra Rouge, VV = Verticale-Verticale, VH = Verticale-Horizontale, HH = Horizontale-Horizontale et HV = Horizontale-Verticale.

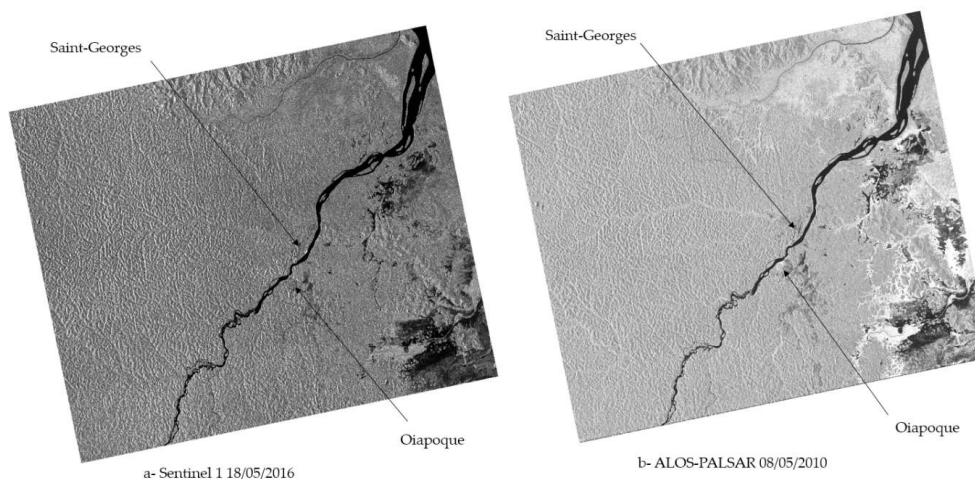
Données RADAR

- 24 Une série temporelle d'images Sentinel-1 de 31 dates couvrant l'année 2016 a été téléchargée depuis la plateforme d'exploitation des produits Sentinel (PEPS) développée par le Centre National d'Études Spatiales (CNES). Sentinel-1 héberge un capteur RADAR à synthèse d'ouverture (RSO, voir partie 1) en bande C, dont la longueur d'onde est d'environ 6 cm. Les images ont été téléchargées en niveau GRD (Ground Range Detected), et acquises dans le mode d'acquisition IW (Interferometric Wide Swath) en double polarisation VH (Verticale-Horizontale) et VV (Verticale-verticale) pour une résolution spatiale de 10 mètres, et un angle d'incidence de 38 degrés. Les GRD sont des données dites de niveau 1 qui ont été en partie traitées en réduisant le chatoiement (speckle) des images. Cet effet se manifeste comme une texture poivre et sel sur les images. Le chatoiement est produit par l'interférence aléatoire, constructive et destructive, provenant de la diffusion multiple qui se produit dans chaque cellule de résolution. La présence de chatoiement dégrade la qualité visuelle de l'image, la rendant plus difficile à interpréter qu'une image optique. Le procédé utilisé repose sur une multi-visée (multi-look), qui consiste à effectuer une moyenne de l'image en utilisant plusieurs images de la même scène en projetant l'image au sol avec des pixels dont la géométrie est proche du carré. L'image a ensuite été corrigée radiométriquement et géométriquement en utilisant le logiciel libre SNAP (Sentinel Application Platform). L'IW est le principal mode d'acquisition qui possède une fauchée de 250 kilomètres (figure 11a).
- 25 En plus des données précédentes, nous avons utilisé des données RADAR PALSAR-1 en bande L (longueur d'onde ~ 30 cm) du satellite ALOS-1 (figure 11b). Seules des données d'archive sont aujourd'hui disponibles, le satellite ayant été actif de 2006 à 2011. Les données ALOS/PALSAR sont actuellement les seules données en bande L disponibles gratuitement. Dans le cadre de notre étude, il a été décidé de tester leur apport pour la thématique environnement-santé afin d'évaluer leur intérêt. Les données ont été téléchargées sur le site de l'ASF (Alaska Satellite Facility) en niveau RTC (Radiometrically terrain-corrected). Ces données sont calibrées radiométriquement et corrigées géométriquement. Les images ont été acquises dans le mode d'acquisition FBD (Fine Beam

Dual polarization). Ce mode offre des données en double polarisation HH et HV avec une fauchée de 70 km, et une résolution spatiale de 12,5 mètres. Afin de suivre l'évolution des zones humides, nous avons choisi deux dates : l'une en saison des pluies (8 mai 2010), l'autre en saison sèche (8 août 2010).

- 26 En dépit d'un écart de 6 années entre les jeux de données issus des deux capteurs (Sentinel-1 et ALOS/PALSAR), nous estimons que les zones humides ont peu changé durant cet intervalle dans la région à l'Est d'Oiapoque. Ce territoire est en effet peu impacté par des activités anthropiques.

Figure 11 : Imagerie RADAR



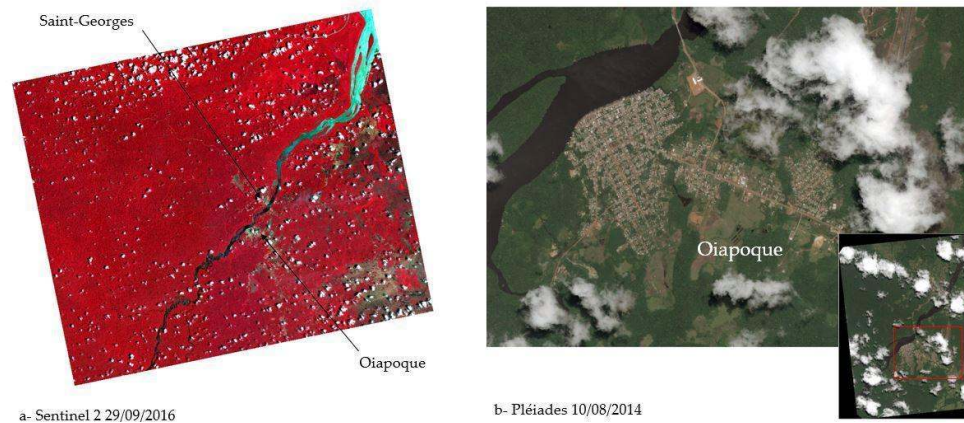
Sentinel-1(a) du 18/05/2016 et ALOS-PALSAR (b) du 08/05/2010 utilisées dans cette étude.

Données optiques

- 27 Nous avons utilisé des données optiques du satellite Sentinel-2 à haute résolution spatiale (HR). Ce type d'image possède 13 bandes spectrales allant du visible au moyen infrarouge pour une résolution allant de 10 à 60 mètres. En raison d'un fort ennuagement, nous n'avons pu obtenir qu'une seule image exploitable d'une surface de 290 km² (29/09/2016, figure 12a). L'ensemble des 31 autres images a donc été jugé inexploitable. Les données ont été téléchargées depuis la plateforme d'exploitation des produits Sentinel (voir section précédente) au niveau de production 1C. Ce niveau correspond à celui d'images en réflectance au sommet de l'atmosphère (TOA, Top-of-Atmosphere), après corrections géométriques et radiométriques. La correction des effets atmosphériques s'est effectuée via le module Sen2Cor fourni par l'ESA.
- 28 En complément des données HR Sentinel, nous avons effectué une demande d'images Pléiades à très haute résolution spatiale (THRS) via le programme GEOSUD. En mode panchromatique, ou après une fusion de type Pan-sharpened (processus qui permet d'améliorer la résolution spatiale des images multispectrales (2 m) en utilisant une image panchromatique (50 cm)), ce type d'image présente une résolution spatiale de l'ordre de 0,5 m. L'emprise d'une scène Pléiades couvre une surface de 400 km², soit 20 x 20 km (figure 12b). Ces images de programmation ont été acquises sur une échelle pluri-annuelle : 3 en 2012, 1 en 2014, et 1 en 2015. Ces programmations ont été motivées par l'obtention d'une couverture sans nuages des quartiers de Saint-Georges et d'Oiapoque.

Ce type d'images THRS permet de réaliser des classifications très précises à l'échelle du quartier et des îlots urbains.

Figure 12 : Imagerie optique Sentinel-2



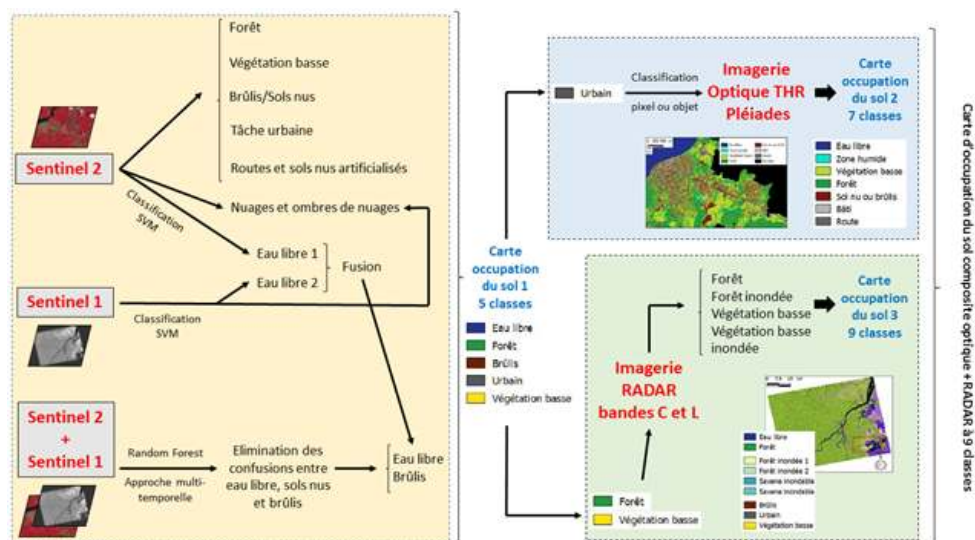
(a) du 29/09/2016 et Pléiades (b) du 10/08/2014 utilisées dans cette étude.

Méthodologie

29 Le cadre méthodologique de cette étude repose sur trois axes principaux :

- la génération de classifications des types d'occupation du sol à partir des différentes données d'imagerie RADAR et optique disponibles ;
- la combinaison des classifications issues de l'étape (A) pour profiter de la complémentarité d'observation des capteurs (figure 13) : (i) combinaison RADAR--optique pour le traitement des nuages (Sentinel-1 & 2) (ii) combinaison HR et THRS pour enrichir la classe urbaine (Sentinel-2 & Pléiades) (iii) combinaison RADAR des bandes C et L (Sentinel 1 & PALSAR) pour caractériser les zones humides.
- l'application à l'évaluation du risque d'exposition vectorielle, en lien avec la transmission du paludisme.

Figure 13 : On présente ici les trois types de combinaisons des données de classifications issues des différents capteurs de télédétection de notre étude :



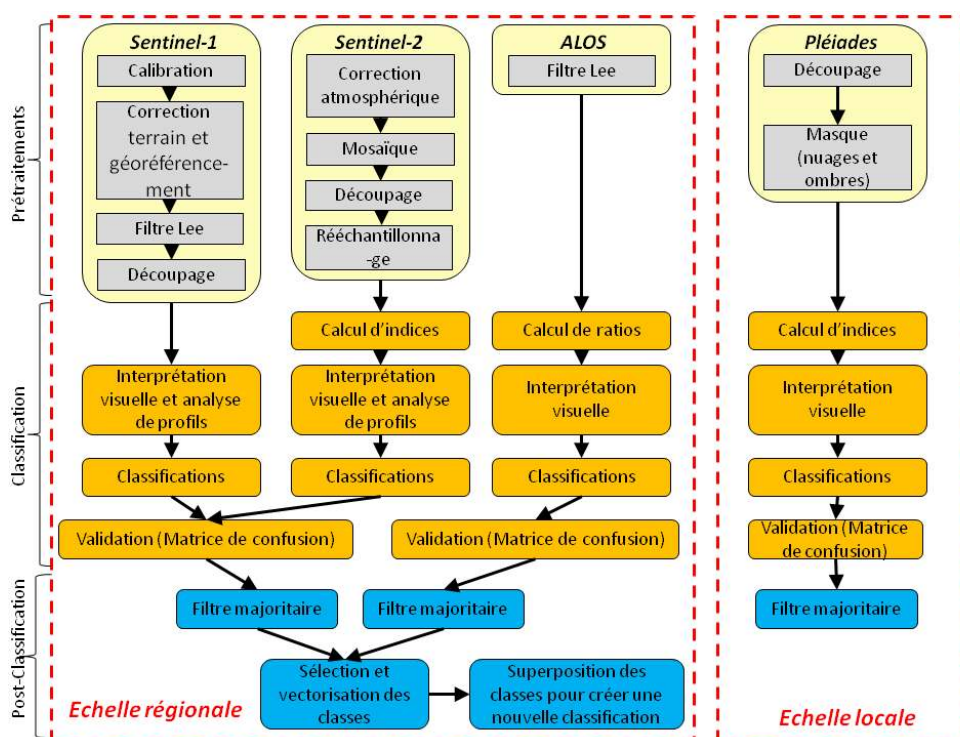
Sentinel-1 & 2 pour s'affranchir des nuages, Sentinel-2 & Pléiades pour enrichir la classe « Urbain » en classes « Bâti » et « Route », RADAR en bandes L & C pour traiter le cas des zones humides végétalisées.

Étapes de classifications (A)

30 Les méthodes de classifications des types d'occupation du sol suivent des étapes communes aux différents capteurs (figure 14) :

- prétraitement (corrections atmosphériques, filtres) ;
- analyse par compositions colorées et calculs d'indices pour identifier les différentes classes;
- évaluation et comparaison des différentes classifications ;
- validation des classifications générées par des matrices de confusion (outil qui permet de mesurer la qualité des classifications) ;
- post-traitement : application d'un filtre majoritaire sur les classifications pour éliminer les pixels isolés.

Figure 14 : Schéma général des étapes de classification selon les différentes données d'imagerie



prétraitements (jaune et gris), classification orientée pixel (orange), et post-classification (bleu).

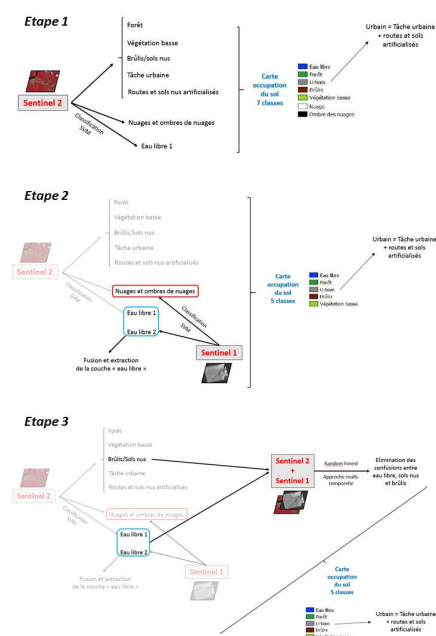
- 31 Trois méthodes de classification ont été évaluées. Ces méthodes se basent toutes sur la valeur radiométrique des pixels : classification non-supervisée k-moyenne (k-means), classification supervisée par arbre de décision, et classifications supervisées Support Vector Machine (SVM) et Random Forest (RF).

Combinaisons des approches RADAR et optiques (B)

- 32 Après analyses des classifications issues du premier axe de traitements (A), chaque capteur a permis d'extraire différentes classes d'occupation du sol. Dans ce second axe de traitements (B), nous combinons les différentes données de classifications pour créer de nouvelles classifications composites.
- 33 Une première approche consiste à compléter les données optiques manquantes par les données des classes RADAR en suivant trois étapes (figure 15):

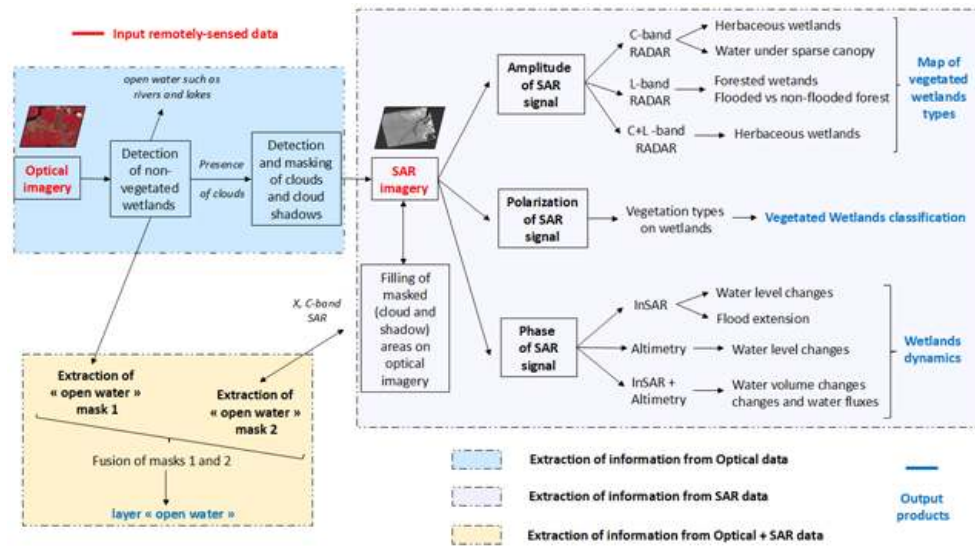
- une classification obtenue sur l'image optique Sentinel-2 incluant une classe « nuages » et une classe « ombres de nuages » pour lesquels il n'y a pas d'information sur l'occupation du sol. A ce stade, la carte contient 7 classes d'occupation du sol ;
- une réaffectation de pixels. L'information manquante due aux nuages et aux ombres de nuages est remplacée par de l'information d'occupation du sol extraite d'une pile d'images RADAR Sentinel-1 (une image moyenne par saison). Chaque pixel est alors réaffecté à une classe existante pour produire une carte d'occupation du sol à 5 classes;
- une comparaison via une approche multi-temporelle des classifications issues des données Sentinel-1 et Sentinel-2 permet d'éliminer les confusions entre les classes : « eau libre », « brûlis », et « sols nus ». A ce stade, la classification contient 5 classes : eau libre, forêt, urbain (tâche urbaine + routes et sols artificialisés), brûlis, et végétation basse.

Figure 15 : combinaison de données Sentinel-1 et Sentinel-2 pour la production de carte d'occupation du sol composite en contexte amazonien.



- 34 Une deuxième approche consiste à exploiter les différentes résolutions spatiales des capteurs optiques HR et THRS pour extraire la « tâche urbaine ». Une nouvelle classification est menée à partir d'une image Pléiades en utilisant un algorithme de type arbre de décision afin de classer le bâti, les routes, la végétation intra-urbaine et les zones en eau dans la ville. Une classification à 7 classes est générée, incluant les classes « zones humides » dans la ville et la classe urbaine décomposée en « bâti » et « routes ».
- 35 Une troisième et dernière approche consiste à combiner les bandes C et L des deux types de capteurs RADAR Sentinel-1 et PALSAR pour caractériser les classes « forêt » et « végétation basse » en différentes zones humides (Catry et al., 2018, figure 16). Une classification finale à 9 classes est ainsi générée.

Figure 16 : Utilisation des bandes C et L des deux capteurs Sentinel 1 et PALSAR pour caractériser les classes « forêt » et « végétation basse » en différentes zones humides en contexte amazonien



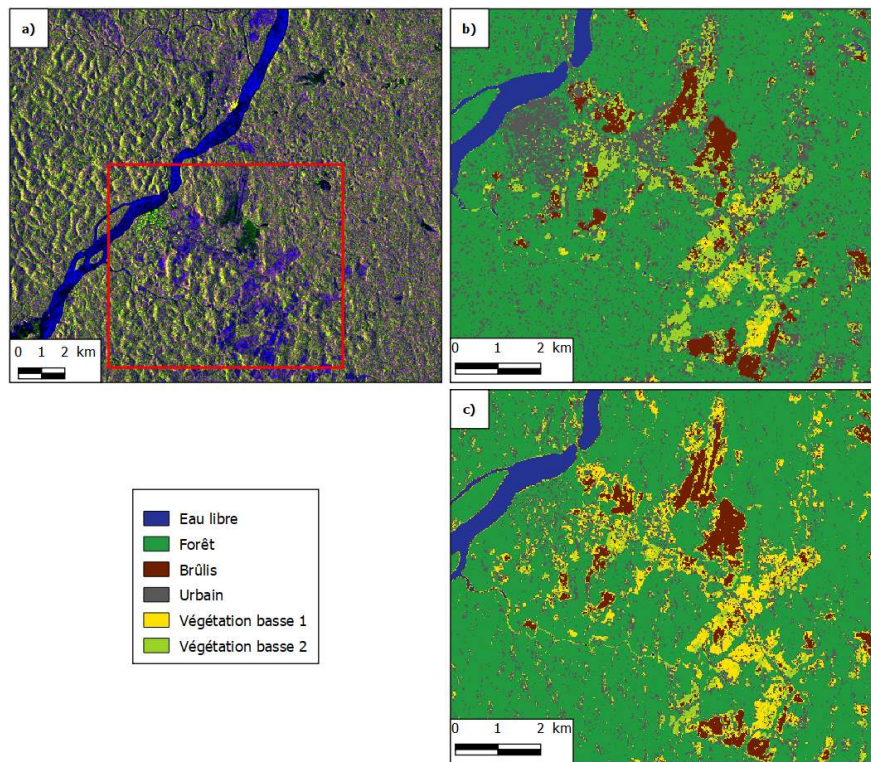
Catry et al., 2018.

Résultats

Classification issue des données radar HR (Sentinel-1)

- 36 Nous avons comparé les résultats des classifications *SVM* et *RF* obtenues pour l'année 2016 sur la région d'Oiapoque (figure 17). Les deux algorithmes produisent des résultats similaires pour les classes « Forêts », « Eau » et « Brûlis ». En revanche, on note des différences notables pour les autres classes, notamment pour la classe « Urbain ». Cette classe est mieux identifiée avec le classifieur *SVM* (figure 17).

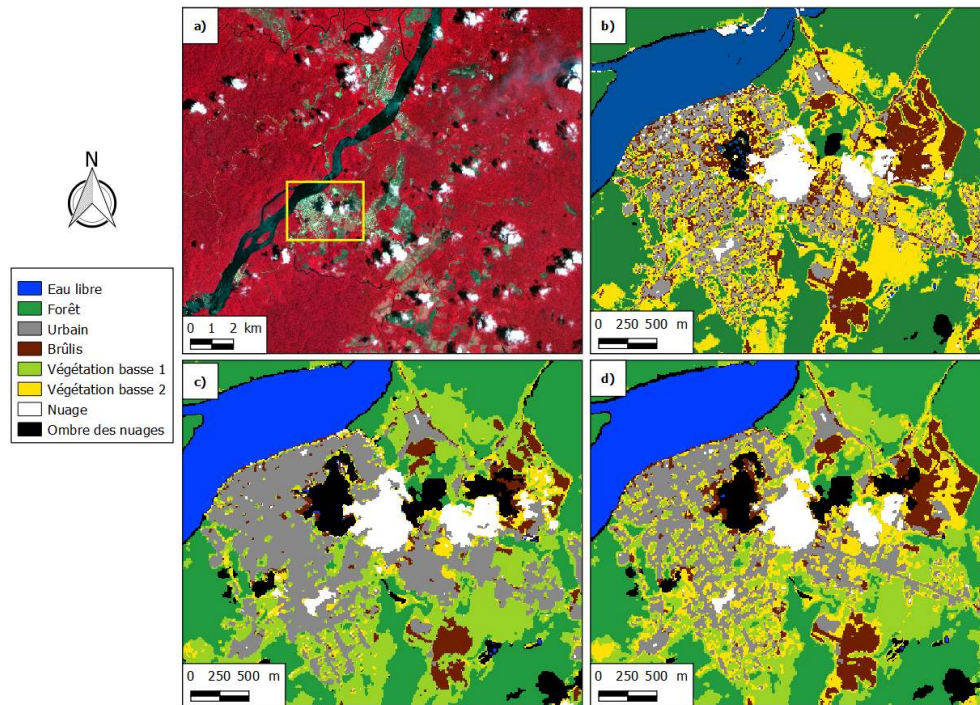
Figure 17 : a) Composition colorée Sentinel-1 (VH, VV et VH sur VV) et classifications b) SVM et c) RF des données Sentinel-1 de l'année 2016 en polarisation VV et VH.



Classification issue des données optiques HR (Sentinel-2)

- 37 L'algorithme RF (Random Forest) réalise de meilleures performances avec les données Sentinel-2. On obtient une meilleure discrimination des classes « Urbain » et « Brûlis » en comparaison de la classification RF à partir des données Sentinel-1. La détection des nuages et de leurs ombres est plus efficace avec l'algorithme RF, alors qu'elle est sous-estimée via un algorithme de type arbre de décision (figure 18).

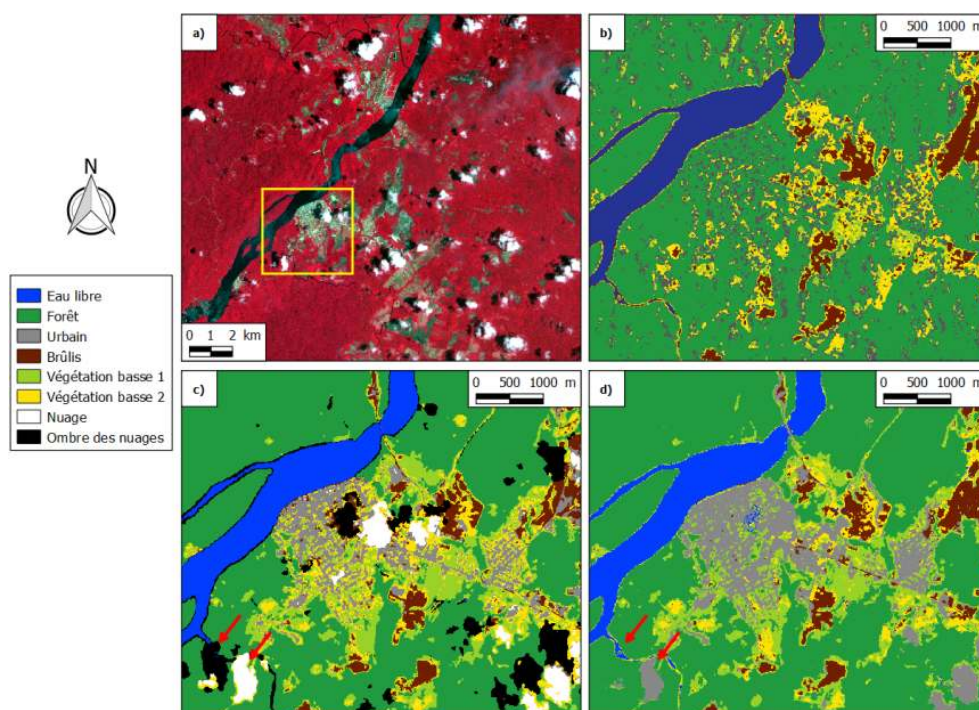
Figure 18 : a) Composition colorée (PIR-R-V) Sentinel-2 du 29/09/2016. Classifications b) par arbre de décision c) SVM d) RF.



Combinaison des classifications HR : Sentinel 1 & 2

- 38 Nous avons comparé les résultats des classifications issues des données (i) Sentinel 1 seules (ii) Sentinel-2 seules (iii) Sentinel 1 & 2 combinées (figure 19). Dans le cas de cette dernière classification, combinant les deux types de données S1-S2, les données masquées par les nuages et les ombres sont remplacées par de l'information extraite de Sentinel-1 correspondant à la classe des pixels voisins, provoquant des confusions et un manque de précision dans la classification au niveau de ces zones.

Figure 19 : a) Composition colorée (PIR-R-V) Sentinel-2 du 29/09/2016. Classifications b) RF des données Sentinel-1 c) RF des données Sentinel-2 d) RF des données Sentinel-1 & S2 combinées.



Classifications PALSAR

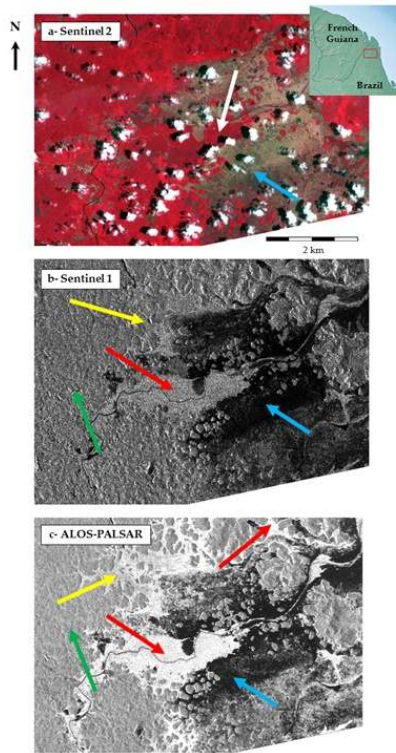
39 La figure 20 présente une comparaison des signaux (réflectance optique et rétrodiffusion RADAR) de la même zone humide végétalisée à la frontière Guyane française - Brésil. Sur les données optiques Sentinel-2 à 10 m de résolution en composition colorée (PIR, R, V) (figure 20a), on observe deux signaux caractéristiques : végétation (flèche blanche), savanes sèches (flèche bleue, présence de végétation herbacée éparses). Sur la même zone, on identifie avec les données RADAR Sentinel-1 (bande C, 10 m de résolution, polarisation VH) (figure 20b):

- la présence d'eau libre (zone de couleur noire à cause de la réflexion spéculaire – la surface étant considérée comme lisse par l'onde, celle-ci agit comme un miroir qui va renvoyer le signal dans la direction opposée au capteur –, indiquée par une flèche bleue sur la figure 20) recouvrant entièrement les zones de savane sèche.
- la présence de zones humides recouvertes de forêt (forêt inondée, flèche rouge).

40 Ces zones humides ne se différencient pas de manière évidente de la forêt non-inondée (flèche verte) ni des zones humides herbacées (flèches jaunes, pour lesquelles le niveau d'eau est plus faible que dans les savanes sèches inondées ou la végétation herbacée plus dense). Dans ce contexte, l'apport de la bande L PALSAR (12,5 m de résolution spatiale, polarisation HH) (figure 20 c) permet de discriminer :

- l'eau libre (flèche bleue)
- la forêt non-inondée (flèche verte)
- les zones humides herbacées (flèche jaune)
- la forêt inondée (flèche rouge), avec une valeur de rétrodiffusion très élevée (en blanc) due à l'effet double-rebond (réflexion de l'onde sur la surface en eau et sur les troncs sous la canopée, qui va être renvoyée en direction du capteur).

Figure 20 : Comparaison des réflectances et rétrodiffusions sur une partie de notre zone d'étude, à la frontière Guyane française - Brésil.



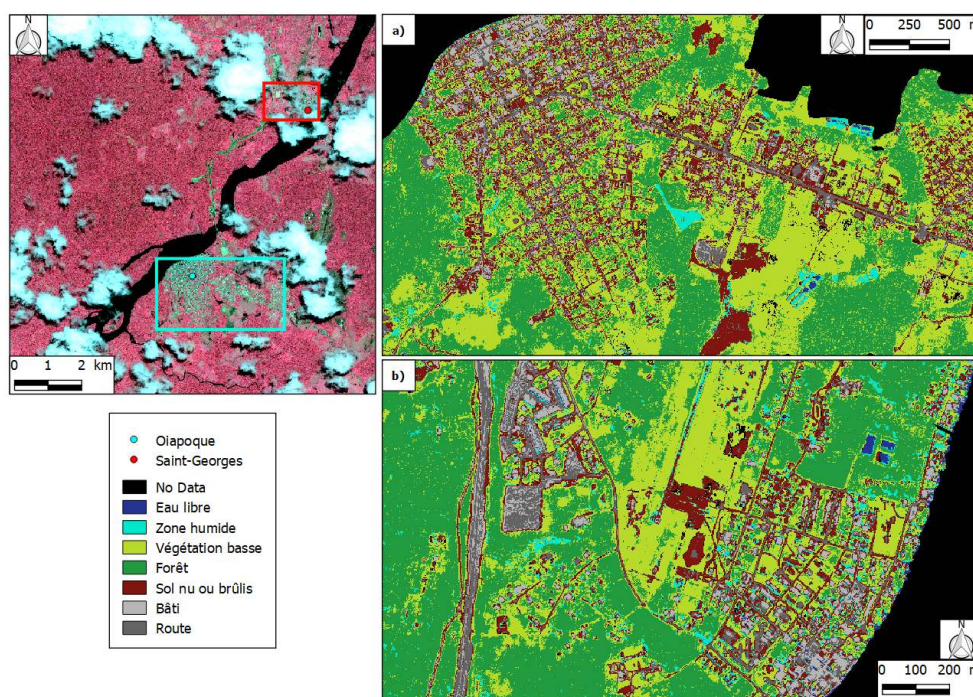
Les données sont issues des capteurs suivants : (a) Sentinel 2, septembre 2016, European Space Agency (ESA, 2016) (b) Sentinel 1 en polarisation VH, mai 2016, ESA (c) ALOS PALSAR en polarisation HH, mai 2010, © JAXA, METI

Catry et al., 2018.

Classification issue des données THR (Pléiades)

- 41 Pour la classification sur les villes d'Oiapoque et Saint-Georges, les meilleurs résultats ont été obtenus pour les classes « Zone humide », « Forêt », « Végétation basse » et « Route ». On note des confusions entre les classes « Eau » et « Zones humides ». Ces confusions peuvent s'expliquer par la présence de végétation. On note également des confusions importantes entre « Bâti » et « Sol nu » (figure 21).

Figure 21 : Composition colorée Pléiades (NIR-R-V) du 26/08/2014.

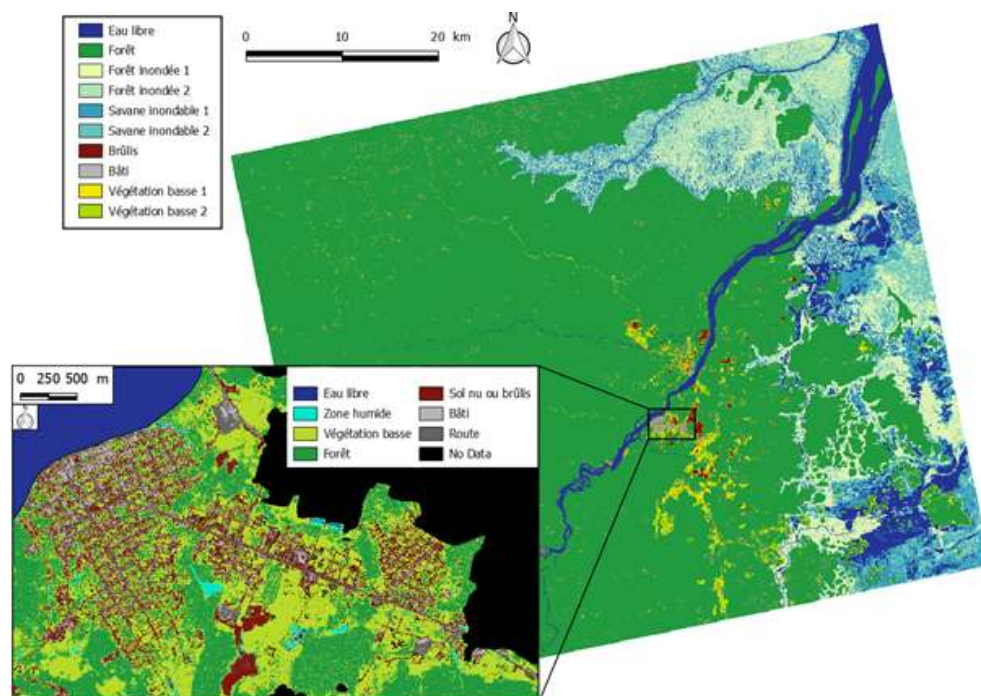


a) Classification du 26/08/2014 sur Oiapoque b) Classification du 23/06/2012 sur Saint-Georges.

Classification composite par combinaison d'informations spatialisées

- 42 Pour Sentinel-2, nous avons gardé les classes « Forêt », « Végétation basse 1 », « Végétation basse 2 » et « Urbain ». Ces classes sont issues de la classification SVM.
- 43 Pour ALOS/PALSAR, nous avons gardé l'ensemble des classes comprises dans le masque créé pour délimiter les zones humides.
- 44 La classe « Brûlis » est issue de la classification RF appliquée à la combinaison des données Sentinel 1 et Sentinel 2. L'indice de précision de classification est meilleur pour les données uniquement issues de Sentinel-2. Nous avons cependant utilisé les résultats de la classification effectuée à partir des données combinées S1-S2 afin de profiter de la multi-temporalité des données Sentinel-1 (les brûlis n'étant réalisés qu'en saison sèche).
- 45 Pour Sentinel-1, nous avons utilisé la classification SVM comme donnée initiale afin de combler la perte d'information sur l'imagerie optique liée aux nuages et à leurs ombres.
- 46 L'ensemble des traitements évoqués dans cette étude permet de créer une cartographie inédite des différentes classes d'occupation du sol. Cette cartographie composite est le résultat de notre méthodologie, combinant une approche multi-capteurs RADAR & optique et une approche multi-résolution haute et très haute résolution spatiale (HR & THRS) (figure 22).

Figure 22 : Cartes d'occupation du sol composites combinant les approches multi-capteurs RADAR et optique, et multi-résolutions haute-résolution (HR) et très haute résolution spatiale (THRS) en saison humide sur la région d'Oiapoque.



Discussion: de l'occupation du sol à des applications en santé publique

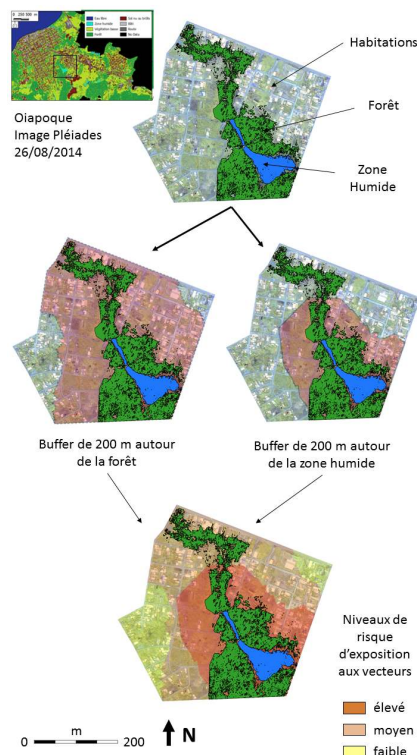
Application à l'évaluation du risque d'exposition vectorielle, en lien avec la transmission du paludisme

- 47 Nous proposons deux cas d'illustration exploitant une partie de la donnée de classification produite dans les parties (A) et (B). En l'absence de données in situ entomologique, il est difficile de proposer une estimation réaliste de la production des gîtes larvaires associée aux zones en eau.
- 48 La première application présentée ci-dessous s'intéresse à la production de carte de risque d'exposition aux vecteurs du paludisme par une approche par zones tampons centrées sur les lisières forestières (la forêt constituant des zones de repos pour les anophèles adultes), et les zones humides (gîtes larvaires potentiels). Une telle approche est appliquée à la ville d'Oiapoque, située dans l'état brésilien d'Amapá, à la frontière avec la Guyane française (fig. 23). En absence d'informations précises sur la population (densité, nombre d'habitants), il a été choisi d'utiliser la présence d'habitations comme proxy de la présence de population. Des approches basées sur des zones tampons ont déjà été testées précédemment (Stefani et al., 2011b), dans lesquelles des zones tampons (ou "buffers") de 200 et 400 m, correspondants à des distances classiques de déplacements des principales espèces d'anophèles, ont montré les résultats les plus probants pour la caractérisation environnementale de l'incidence du paludisme dans le village de Camopi en Guyane Française. Camopi est distant d'une centaine de kilomètres de Saint Georges d'Oiapoque en amont du fleuve, ce qui justifie ici l'exploitation des résultats de cette étude. Dans notre étude, des buffers de 200 m autour d'une zone humide et d'un patch de forêt ont été sélectionnés. Ce choix est justifié par la proximité d'un milieu urbain (classe

«zones d'habitations», figure 23), et par la recherche d'un compromis entre la distance de vol potentielle des Anophèles et la distance suffisante à parcourir pour que le moustique rencontre un hôte humain dans la zone sélectionnée. Sur la figure 23, l'échelle de couleur indique le niveau de risque d'exposition aux vecteurs. La zone en rouge représente un niveau de risque élevé, zone pour laquelle des habitations sont situées à la fois dans le buffer forêt et le buffer zone humide (risque de présence d'adultes au repos et de larves d'anophèles). La zone orange représente un niveau de risque moyen, étant située uniquement dans le buffer de la forêt, avec présence possible de vecteurs adultes. Enfin en jaune, le risque est faible, les habitations n'étant situées dans aucun des buffers définis plus haut.

- 49 Cette approche, très préliminaire, se veut principalement une illustration de l'utilisation des cartes d'occupation du sol composites produites via la méthodologie décrite dans cette étude. Des travaux en cours se concentrent sur le développement d'un modèle statistique d'interaction homme-vecteur basé sur des métriques paysagères.

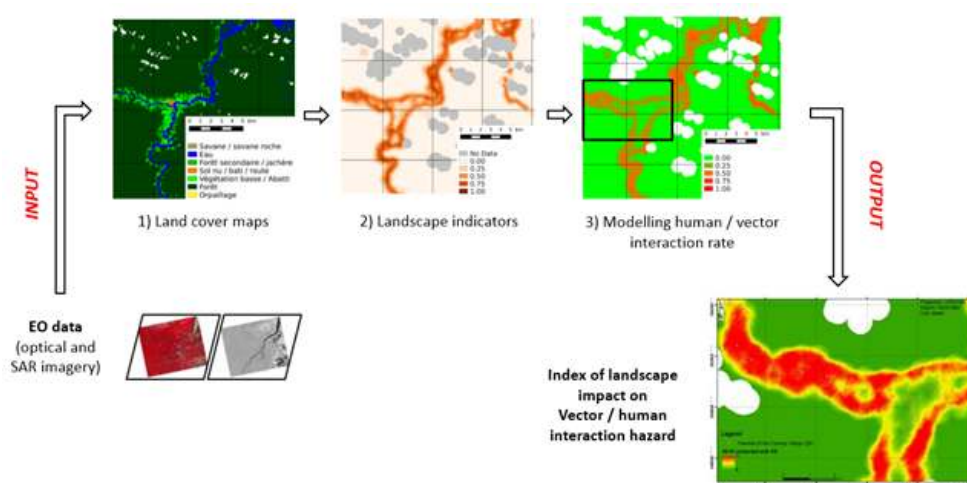
Figure 23 : Illustration de l'utilisation des cartes d'occupation du sol produites dans cette étude comme donnée d'entrée pour la production de cartes de risque d'exposition.



- 50 L'approche retenue est fondée sur l'utilisation de zones tampons caractérisant des zones potentielles de présence de vecteurs en fonction de la nature des conditions environnementales et définissant un niveau de risque d'exposition aux vecteurs.
- 51 Le deuxième cas d'application ci-dessous présente les résultats d'un modèle d'interactions Hommes-Vecteurs construit sur la base des travaux de Li et al. (2016). Li et al. (2016) ont proposé, à partir d'un modèle de connaissance des interactions hommes-anophèles (*An. darlingi* en particulier) en Amazonie, un indice de « dangerosité » du paysage appelé NLHI (pour Normalized Landscape-based Hazard Index). Cet indice traduit le fait que dans un espace donné, à densité vectorielle et à densité humaine égales, la

proportion de l'espace occupé par la forêt et la configuration spatiale du milieu forestier – plus spécifiquement le « taux de contact » entre les milieux forestier et non-forestier – influent significativement sur le risque d'exposition de l'homme aux piqûres d'anophèles. Li et al. (2016) définissent donc leur indice comme la combinaison de deux métriques paysagères, forest-ED (forest Edge Density : longueur totale des lisières de forêts) et forest-P (surface relative occupée par la forêt), calculées à partir d'une carte d'occupation du sol (figure 24) dans une fenêtre discoïdale glissante de 400 m de côté (d'après Stefani et al. 2011a). Li et al. (2016) ont évalué quantitativement cet indice en le comparant aux incidences du paludisme à *Plasmodium falciparum* observées à l'échelle des hameaux composants le village de Camopi (en faisant l'hypothèse d'une transmission domiciliaire et/ou péri-domiciliaire, permettant de corrélérer les taux d'incidence aux habitations et l'environnement alentour).

Figure 24 : Schéma de production de la carte d'aléa caractérisant les interactions homme - vecteurs en lien avec la configuration du paysage, à la frontière Guyane française - Brésil



d'après Li et al., 2016. Cette carte d'aléa exploite une carte d'occupation du sol produite à partir de données SPOT-5.

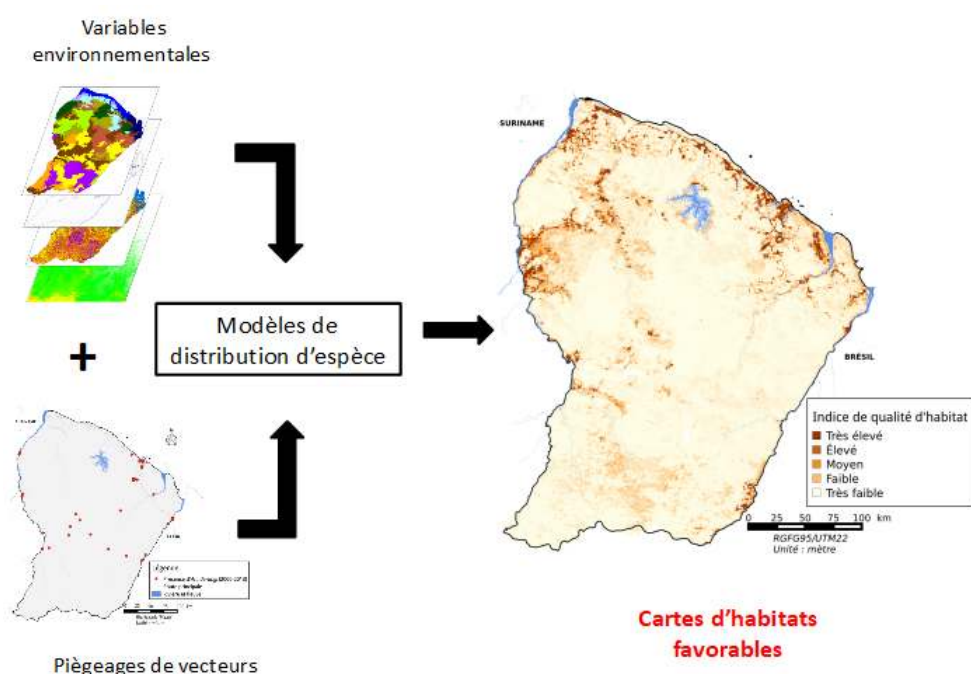
- 52 Les travaux à venir ont pour objectif d'implémenter ce modèle sur l'emprise de la zone cartographiée dans cette étude, en intégrant à la fois le rôle de la forêt et des zones humides en tant que lieux de production des vecteurs. Dans cette approche, les données SPOT 5 utilisées par Li et al. (2016) seront remplacées par des données récentes de type Sentinel 1 (RADAR en bande C) et 2 (optique multi-spectral). D'une résolution spatiale comparable aux données SPOT 5 (10-20 m), ces images permettront d'implémenter directement le modèle de Li et al. (2016), et d'établir une comparaison avec les résultats produits pour l'année 2012. Les missions Sentinel 1 et 2 présentent une haute répétitivité temporelle avec un mode d'acquisition systématique (5 à 12 jours selon la zone cartographiée). Cette fréquence d'acquisition inédite à cette résolution doit permettre de mieux appréhender la dynamique d'évolution du risque d'exposition vectorielle sur quelques années pour aider à la mise en place de stratégies de lutte. Un travail de prospection entomologique sera nécessaire afin de valider l'apport des données optique et RADAR pour des applications opérationnelles.
- 53 De plus, l'intégration de données caractérisant la population dans la zone d'étude reste à envisager. Enfin, face à l'importance des différentes échelles spatiales dans les processus

de transmission des maladies vectorielles, la production de cartes de risque d'exposition stratifiées intégrant ces différentes échelles devra être considérée.

Production de cartes d'habitats favorables aux vecteurs

- 54 Les cartes d'occupation du sol du type de celles produites dans cette étude peuvent également servir de données d'entrée pour la production de cartes d'habitats favorables aux vecteurs. Moua et al. (2016) a par exemple développé un modèle de distribution d'espèces permettant de cartographier les habitats favorables au principal vecteur du paludisme en Guyane française (*An. darlingi*) à partir de données environnementales incluant une carte d'occupation du sol (figure 25).

Figure 25 : Modélisation de distribution d'espèces et production de cartes d'habitats favorables à *An. Darlingi* du paludisme en Guyane française à partir de variables environnementales extraites de la télédétection, incluant des cartes d'occupation du sol.



Conclusion et perspectives

- 55 L'approche méthodologique développée dans cette étude s'appuie sur la combinaison de données d'observation de la Terre issues de différents capteurs. Cette approche s'est montrée particulièrement efficace dans la cartographie d'occupation du sol. La combinaison de couches d'occupation du sol extraites de données optiques, RADAR, et vectorielles à différentes résolutions spatiales a permis de déterminer des classes d'occupation du sol considérées dans la littérature comme des milieux potentiellement favorables au développement de vecteurs de transmission du paludisme : forêts, zones végétalisées, zones de déforestation, zones humides, gradient d'urbanisation (Sinka et al., 2010; Stefani et al., 2013).
- 56 L'occupation du sol sert de données d'entrée dans de nombreuses études dont l'objectif est la caractérisation ou la modélisation de l'écologie des vecteurs.

- 57 Ces études se fondent cependant sur des cartes d'occupation du sol ponctuelles (mono-date ou moyennes annuelles), et sur des données optiques fortement ennuagées. L'intérêt de nos travaux repose sur l'élaboration d'une méthode de classification qui s'affranchit des nuages, et qui permet la production de cartes d'occupation du sol incluant la caractérisation des zones végétalisées inondées ou inondables. Une mise à jour saisonnière ou mensuelle est rendue possible par les capacités de revisite des satellites. La qualité des données en sortie de modèles, comme ceux développés par Moua (2016), Li (2016) et Adde et al. (2016), pourrait être améliorée en prenant en entrée les cartes d'occupation du sol produites dans cette étude.
- 58 Le type d'approche retenu ici présente un intérêt important pour contribuer à la définition de stratégies de lutte anti-vectorielle, en s'appuyant sur une meilleure connaissance des zones d'interactions hommes-vecteurs, sources de transmission. En ce sens, la télédétection représente un outil important pour les applications futures dans le domaine de la santé publique.
- 59 Cette étude a été menée dans le cadre des projets TéléPAL (TOSCA CNES 2015--2017) et GAPAM Sentinela (Programme Guyamazon), avec le support de la JEAi GITES et du LMI Sentinela (IRD)

BIBLIOGRAFIA

- Adde, A., Roux, E., Mangeas, M., Dessay, N., Nacher, M., Dusfour, I., Girod, R., Briolant, S. Dynamical Mapping of *Anopheles darlingi* Densities in a Residual Malaria Transmission Area of French Guiana by Using Remote Sensing and Meteorological Data. *PLoS ONE, Public Library of Science*, 2016, 11 (10).
- Bourzac, K. Infectious disease: Beating the big three. *Nature*, 2014, 507, S4.
- Catry, T., Li, Z., Roux, E., Herbreteau, V., Gurgel, H., Mangeas, M., Seyler and Dessay, N. Wetlands and Malaria in the Amazon: Guidelines for the Use of Synthetic Aperture Radar Remote-Sensing. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2018, 15, 468; doi:10.3390/ijerph15030468.
- Dobson, M.C.; Ulaby, F.T.; Pierce, L.E.; Sharik, T.L.; Bergen, K.M.; Kellndorfer, J.; Kendra, J.R.; Li, E.; Lin, Y.C.; Sarabandi, K.; et al. Estimation of forest biophysical characteristics in northern Michigan with SIR-C/X-SAR. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 1995, 33, 877–895.
- Ferguson, H. M., Dornhaus, A., Beeche, A., Borgemeister, C., Gottlieb, M., Mulla, M. S., ...& Killeen, G. F. Ecology: a prerequisite for malaria elimination and eradication. *PLoS medicine*, 2010, 7(8), e1000303.
- Girod, R.; Roux, E.; Berger, F.; Stefani, A.; Gaborit, P.; Carinci, R.; Issaly, J.; Carme, B.; Dusfour, I. Unravelling the relationships between *anopheles darlingi* (diptera: Culicidae) densities, environmental factors and malaria incidence: Understanding the variable patterns of malarial transmission in french guiana (south america). *Ann Trop Med Parasitol* 2011, 105, 107-122, 10.1179/136485911X12899838683322.

- Hiwat, H.; Bretas, G. Ecology of *Anopheles darlingi* Root with respect to vector importance: A review. *Parasites Vectors* 2011, 4, 177.
- Hostache, R., Puech, C., & Raclot, D. (2007). Caractérisation spatiale de l'aléa inondation à partir d'images satellites RADAR. *Cybergeo: European Journal of Geography*.
- Kasischke, E.S.; Bourgeau-Chavez, L.L. Monitoring South Florida wetlands using ERS-1 SAR imagery. *Photogramm. Eng. Remote Sens.* 1997, 63, 281–291.
- Li, Z., Roux, E., Dessay, N., Girod, R., Stefani, A., Nacher, M., ... & Seyler, F. Mapping a knowledge-based malaria hazard index related to landscape using remote sensing: Application to the cross-border area between French Guiana and Brazil. *Remote Sensing*, 2016, 8(4), 319.
- Machault, V., Vignolles, C., Borch, F., Vounatsou, P., Briolant, S., Lacaux, J. P., & Rogier, C. The use of remotely sensed environmental data in the study of malaria. *Geospatial Health*, 2011, 5(2), 151-168.
- Moua, Y., Roux, E., Girod, R., Dusfour, I., De Thoisy, B., Seyler, F., & Briolant, S. Distribution of the habitat suitability of the main malaria vector in French Guiana using maximum entropy modeling. *Journal of medical entomology*, 2016, 54(3), 606-621.
- Mouchet J., Biodiversité du paludisme dans le monde, John Libbey Eurotext, 2004.
- Peiter, P.C. Living conditions, health status and health services availability along the brazilian border: A geographical approach. *Cad Saúde Pública* 2007, 23, 237-250, 10.1590/S0102-311X2007001400013.
- Proisy, C. Apport des données radar à synthèse d'ouverture pour l'étude de la dynamique des écosystèmes forestiers (Doctoral dissertation, Toulouse 3, 1999).
- Rosa-Freitas, M.G.; Tsouris, P.; Peterson, A.T.; Honório, N.A.; de Barros, F.S.M.; de Aguiar, D.B.; Gurgel, H.D.; de Arruda, M.E.; Vasconcelos, S.D.; Luitgards-Moura, J.F. An ecoregional classification for the state of Roraima, Brazil. The importance of landscape in malaria biology. *Mem I Oswaldo Cruz* 2007, 102, 349-357, Doi 10.1590/S0074-02762007005000052.
- Sinka, M.E.; Bangs, M.J.; Manguin, S.; Coetzee, M.; Mbogo, C.M.; Hemingway, J.; Patil, A.P.; Temperley, W.H.; Gething, P.W.; Kabaria, C.W.; et al. The dominant *Anopheles* vectors of human Malaria in the Americas: Occurrence data, distribution maps and bionomic précis. *Parasites Vectors*, 2010, 3, 117.
- Stefani, A.; Hanf, M.; Nacher, M.; Girod, R.; Carme, B. Environmental, entomological, socioeconomic and behavioural risk factors for malaria attacks in Amerindian children of Camopi, French Guiana. *Malaria Journal* 2011a, 10, 246, 10.1186/1475-2875-10-246.
- Stefani, A.; Roux, E.; Fotsing, J.M.; Carme, B. Studying relationships between environment and malaria incidence in Camopi (French Guiana) through the objective selection of buffer-based landscape characterisations. *Int J Health Geogr* 2011b, 10, 65, 10.1186/1476-072X-10-65.
- Stefani, A.; Dusfour, I.; Correa, A.P.; Cruz, M.C.; Dessay, N.; Galardo, A.K.; Galardo, C.D.; Girod, R.; Gomes, M.S.; Gurgel, H., et al. Land cover, land use and malaria in the Amazon: A systematic literature review of studies using remotely sensed data. *Malaria Journal* 2013, 12, 192, 10.1186/1475-2875-12-192.
- Tadei, W.P.; Rodrigues, I.B.; Rafael, M.S.; Sampaio, R.T.M.; Mesquita, H.G.; Pinheiro, V.C.S.; Zequi, J.A.C.; Roque, R.A.; dos Santos, J.M.M. Adaptive processes, control measures, genetic background, and resilience of malaria vectors and environmental changes in the Amazon region. *Hydrobiologia* 2016, 10.1007/s10750-016-2960-y.

Vittor, A.Y.; Gilman, R.H.; Tielsch, J.; Glass, G.; Shields, T.; Lozano, W.S.; Pinedo-Cancino, V.; Patz, J.A. The effect of deforestation on the human-biting rate of *Anopheles darlingi*, the primary vector of *Plasmodium falciparum* malaria in the Peruvian Amazon. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 2006, 74, 3-11.

Vittor, A.Y.; Pan, W.; Gilman, R.H.; Tielsch, J.; Glass, G.; Shields, T.; Sanchez-Lozano, W.; Pinedo, V.V.; Salas-Cobos, E.; Flores, S., et al. Linking deforestation to malaria in the Amazon: Characterization of the breeding habitat of the principal malaria vector, *Anopheles darlingi*. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 2009, 81, 5-12.

Wang, Y.; Davis, F.W.; Melack, J.M.; Kasischke, E.S.; Christensen, N.L., Jr. The effects of changes in forest biomass on radar backscatter from tree canopies. *Remote Sens.* 1995, 16, 503-513.

RESUMOS

A distribuição dos mosquitos vetores da malária é controlada por vários fatores, como clima, tipos de cobertura do solo ou uso da terra, ou atividades humanas. Na região amazônica, persistem focos endêmicos de malária, particularmente na fronteira entre a Guiana Francesa e o Estado do Amapá no Brasil. Esta área, com mais de 300 km de extensão, apresenta muitas dificuldades na coleta de informações necessárias para a gestão da saúde das populações presentes. Neste tipo de contexto geográfico com poucos dados isolados e transfronteiriços, uma metodologia baseada na exploração de imagens de sensoriamento remoto é particularmente apropriada. Dados de sensoriamento remoto têm ampla cobertura espacial e uma grande variedade de resoluções espaciais. Aqui nós apresentamos uma abordagem combinando alta resolução e alta resolução espacial e dados de satélite óptico e RADAR. Nosso método possibilita mapear os diferentes tipos de cobertura do solo no contexto das fronteiras tropicais da Guiana Francesa - Brasil, caracterizado por um forte aproveitamento. Os resultados mostram que a complementaridade dos sensores ópticos e RADAR possibilita resolver, em grande parte, a questão da persistente nebulosidade. As classificações dos vários tipos de cobertura do solo obtidos permitem construir indicadores espacializados em relação aos espaços favoráveis à existência de criadouros e áreas de descanso do vetor da malária. Através de uma discussão sobre a aplicação de classificações da cobertura do solo compostas para a avaliação do risco de exposição à malária em várias escalas, este estudo de caso ilustra o interesse das abordagens de sensoriamento remoto por satélite para caracterizar os elementos da paisagem e a cobertura da terra, o que pode explicar a distribuição das populações de vetores em conexão com a transmissão de arbovírus.

La distribution des moustiques vecteurs du paludisme est contrôlée par divers facteurs comme le climat, les types d'occupation du sol, ou les activités humaines. Dans la région amazonienne, des foyers endémiques de paludisme subsistent, notamment à la frontière entre la Guyane française et l'état d'Amapá au Brésil. Cette zone, longue de plus de 300 km, présente de nombreuses difficultés dans la collecte des informations nécessaires à la gestion sanitaire des populations présentes. Dans ce type de contexte géographique bénéficiant de peu de données, isolé et transfrontalier, une méthodologie fondée sur l'exploitation d'images de télédétection est particulièrement adaptée. Les données de télédétection présentent une large couverture spatiale, et une gamme importante de résolutions spatiales. Nous présentons ici une approche combinant des données satellite optiques et RADAR à haute et très haute résolution spatiale. Notre méthode permet de cartographier les différents types d'occupation du sol dans le contexte tropical frontalier Guyane française - Brésil, caractérisé par un fort ennuagement. Les résultats montrent que la complémentarité des capteurs optiques et RADAR permet de résoudre en grande partie la

question de l'ennuagement persistant. En particulier, les classifications des différentes occupations du sol obtenues permettent de construire des indicateurs spatialisés en lien avec les espaces favorables à l'existence de gîtes larvaires et de zones de repos du vecteur du paludisme. A travers une discussion sur l'application de ces classifications composites à l'estimation du risque d'exposition vectoriel considéré à différentes échelles, ce cas d'étude illustre l'intérêt d'approches de télédétection satellite pour caractériser des éléments du paysage et l'occupation des sols, susceptibles de rendre compte de la distribution des populations vectorielles en lien avec la transmission d'arbovirus.

The distribution of mosquito vectors of malaria is controlled by various factors such as climate, land cover and land use, or human activities. In the Amazon region, endemic foci of malaria persist, particularly on the border between French Guiana and Amapa State in Brazil. This area, long by 300 km, presents many difficulties in collecting informations necessary for the health management of the local populations. In this type of geographical context, with few, isolated and cross-border data, a methodology based on the exploitation of remote sensing images is particularly appropriate. Remote sensing data have wide spatial coverage, and a large range of spatial resolutions. Here we present an approach combining high resolution and very high spatial resolution optical and SAR satellite data. Our method makes it possible to map the different types of land cover in the tropical border context French Guiana - Brazil, characterized by a persistent cloud cover. The results show that the complementarity of optical and RADAR sensors allows the production of multi-scale mapping of land use/land cover (LULC) independently from cloud cover. In particular, we produced LULC classifications to generate spatialized indicators and characterize the relationship between suitable habitats for malaria vectors and environmental factors. Through a discussion on the application of composite LULC classifications for the assessment of malaria exposure risk at various scales, this case study illustrates the interest of satellite remote sensing approaches to characterize landscape elements and land cover, which can account for the distribution of vector populations in connection with arboviruses transmission.

ÍNDICE

Palavras-chave: Malária, determinantes ambientais, cobertura do solo, sensoriamento remoto, combinação óptica-SAR.

Índice geográfico: fronteira Guyane française – Brésil

Keywords: Malaria, environmental determinants, land cover, remote sensing, optical-SAR combination.

Mots-clés: Paludisme, déterminants environnementaux, occupation du sol, télédétection, combinaison optique-SAR.

AUTORES

THIBAUT CATRY

ESPACE-DEV, UMR228 IRD/UM/UR/UG/UA, Institut de Recherche pour le Développement (IRD), France, thibault.catry@ird.fr

AURÉA POTTIER

ESPACE-DEV, UMR228 IRD/UM/UR/UG/UA, Institut de Recherche pour le Développement (IRD), France ; aurea.pottier@gmail.com

RENAUD MARTI

ESPACE-DEV, UMR228 IRD/UM/UR/UG/UA, Institut de Recherche pour le Développement (IRD),
France, renaud.marti@gmail.com

ZHICHAO LI

Laboratory for Earth System Modeling, Department of Earth System Science, Tsinghua
University, Beijing, China, zhichaoli@mail.tsinghua.edu.cn

EMMANUEL ROUX

ESPACE-DEV, UMR228 IRD/UM/UR/UG/UA, Institut de Recherche pour le Développement (IRD),
France ; emmanuel.roux@ird.fr

VINCENT HERBRETEAU

ESPACE-DEV, UMR228 IRD/UM/UR/UG/UA, Institut de Recherche pour le Développement (IRD),
France ; vincent.herbretreau@ird.fr

MORGAN MANGEAS

ESPACE-DEV, UMR228 IRD/UM/UR/UG/UA, Institut de Recherche pour le Développement (IRD),
France ; morgan.mangeas@ird.fr

LAURENT DEMAGISTRI

ESPACE-DEV, UMR228 IRD/UM/UR/UG/UA, Institut de Recherche pour le Développement (IRD),
France, laurent.demagistri@ird.fr

HELEN GURGEL

LAGAS, Departamento de Geografia, Universidade de Brasília (UnB), Brasil, helengurgel@unb.br

NADINE DESSAY

ESPACE-DEV, UMR228 IRD/UM/UR/UG/UA, Institut de Recherche pour le Développement (IRD),
France ; nadine.dessay@ird.fr

Relações entre o clima e saúde: o caso da dengue no Rio Grande do Sul no período de 2007 a 2017

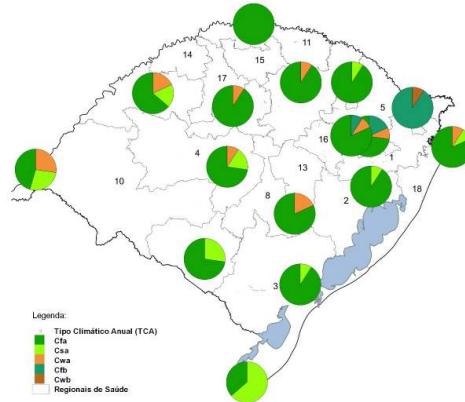
Relations entre le climat et la santé : le cas de la dengue dans l'État de Rio Grande do Sul pendant le période de 2007 à 2017

Relationship between climate and health: the case of dengue fever in Rio Grande do Sul during the period 2007-2017

Erika Collischonn, Vincent Dubreuil e Francisco de Assis Mendonça

Introdução

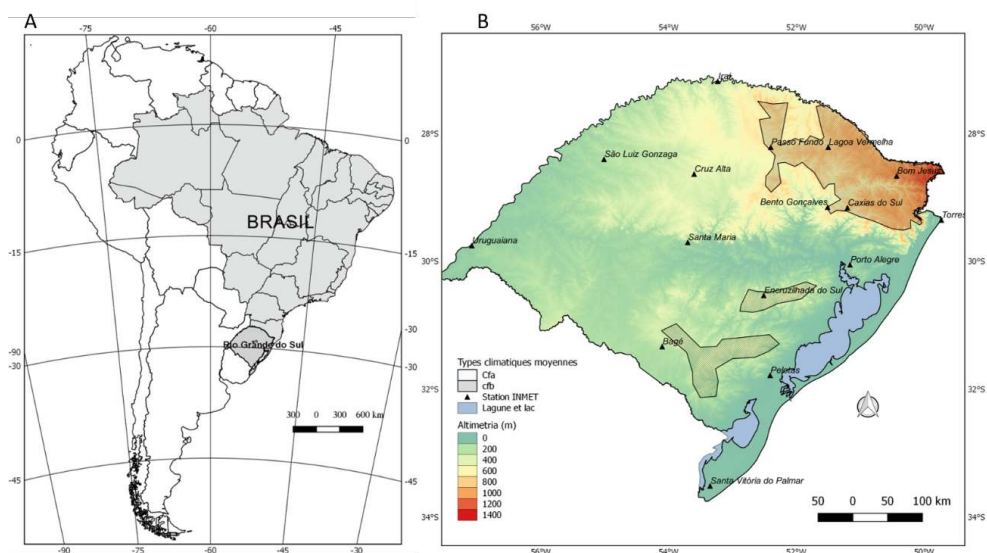
- 1 Dengue é uma infecção causada por vírus propagado por várias espécies de mosquito do gênero *Aedes*, principalmente o *Aedes aegypti*. O ciclo de vida completo do vírus da dengue envolve o papel do mosquito como transmissor (ou vetor) e o do ser humano, por um lado, como vítima principal e, por outro, como fonte de infecção (WHO, 2012). Apesar de ser uma doença tropical, também ocorre, normalmente em menor proporção, na zona subtropical.
- 2 Esta doença tem afetado, principalmente, populações mais vulneráveis, com menos recursos financeiros e menos acesso aos serviços de saúde. Em razão de seu impacto na saúde infantil e na redução da produtividade da população trabalhadora está entre as doenças que tem contribuído para a perpetuação dos ciclos de pobreza e desigualdade social (Souza, 2010; Werneck et al., 2011).
- 3 No Brasil, a dengue que, segundo Teixeira e Barreto (1996), tinha sido erradicada em décadas anteriores, retornou com força nos anos 1980 e, desde então, sua transmissão vem ocorrendo de forma continuada, acentuando-se em anos de ocorrência de epidemias, geralmente associadas com a introdução de novos sorotipos em áreas anteriormente íntegras ou com a alteração do sorotipo predominante. Atualmente circulam pelo país os quatro sorotipos da doença.
- 4 No Rio Grande do Sul, estado situado na porção subtropical do Brasil, os casos de dengue autóctone apresentam, por enquanto, incidência sobretudo sazonal: aumentam na condição de tempo mais favorável ao desenvolvimento do vetor deste agravo (dezembro a abril), e diminuem quando fica mais frio e adverso à difusão do mesmo (Tumioto et al., 2014). Além disso, os números totais variam muito de um ano para o outro, e a frequência das ocorrências é variável mesmo ao longo do período mais favorável.
- 5 São múltiplos os fatores que influenciam a dinâmica das doenças transmitidas por vetores, como a dengue, como mencionou o relatório da OPAS (2009). O clima pode influenciar o ciclo vital dos insetos vetores do agente infeccioso mas, para que uma doença possa ser registrada, outros aspectos entram em interação, tais como: fatores sociodemográficos (migrações, densidade populacional e condições de salubridade nas quais as pessoas vivem e trabalham), fatores econômicos (circulação de mercadorias e pessoas), fatores relacionados às condições e políticas públicas de saúde (estado imunológico da população, efetividade dos sistemas locais de saúde e dos programas específicos de controle de doenças, etc.) e a história da doença no lugar (Mendonça, 2005, p.102). Sem desmerecer estes outros fatores envolvidos no processo saúde-doença, neste artigo se examina a relação entre a variabilidade do clima e a maior ou menor ocorrência registrada de dengue.
- 6 Oliveira et al (2007) chamaram atenção para a elevação do número de casos de dengue no Rio Grande do Sul naquela década, bem como apontaram a necessidade de uma análise mais detalhada da variabilidade e/ou das mudanças climáticas perceptíveis neste estado.



O presente estudo aporta alguns elementos para o avanço do conhecimento sobre esta problemática.

- 7 O Rio Grande do Sul é o estado mais meridional do Brasil, apresentando uma extensão territorial de 281.730,223 km² (Figura 1A), situa-se na zona de clima subtropical úmido (entre 28°S e 33°S) da porção leste do continente sulamericano; as altitudes variam entre o nível do mar e 1.398m (Figura 1B).

Figura 1 – A- Localização do Rio Grande do Sul (Brasil) e B- Distribuição das altitudes, dos tipos climáticos médios e das estações meteorológicas no Rio Grande do Sul.



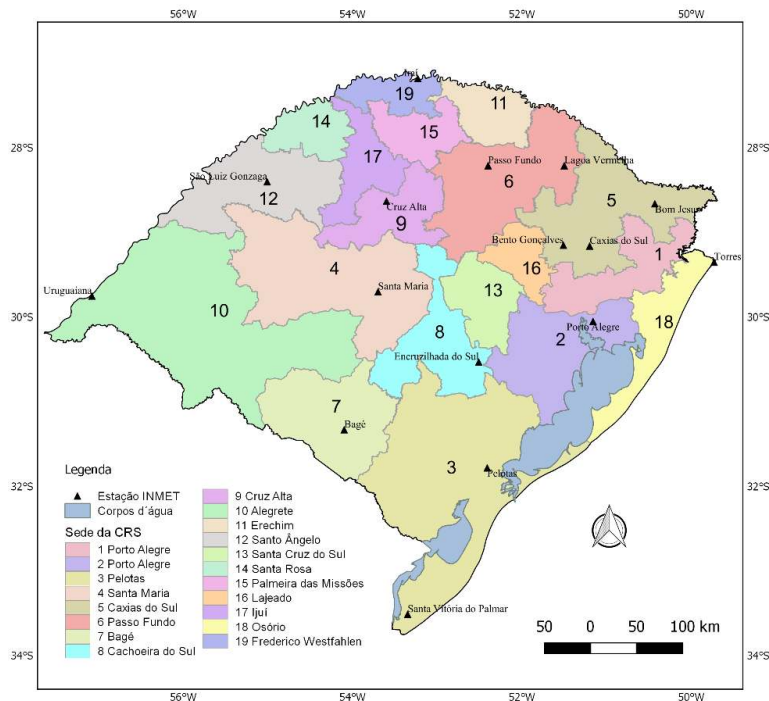
- 8 Na classificação de Köppen o Rio Grande do Sul situa-se na zona temperada tipo "C", domínio "Cf" ou temperado úmido, com precipitação bem distribuída ao longo do ano. No estado, de acordo com as normais climatológicas, o "Cf", (Moreno, 1961; Matzenauer, Radin, e Almeida, 2011) ocorre em duas variedades específicas "Cfa" e "Cfb" (Figura 1B). O tipo "b" se limita aos topos dos Planaltos Arenito Basáltico a norte e Sulriograndense a sul, enquanto que as demais áreas enquadram-se no tipo "a". Esta base em dados médios de 30 anos define um clima estanke, mascarando a variabilidade climática e, ainda, possíveis tendências do clima, às quais deveria se atentar em uma análise decadal.
- 9 O clima do Sul do Brasil apresenta uma forte conexão com o fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS), como já foi amplamente divulgado pela comunidade científica (por exemplo, Rao e Hada, 1990; Grimm et al., 2000, 2009; Pezzi e Cavalcanti, 2001; Berlato e Fontana, 2003). As fases opostas desta oscilação, El Niño (EN) e La Niña (LN), alteram, principalmente, o padrão de distribuição da precipitação nesta porção do país.
- 10 Devido à sua influência na alteração dos padrões climáticos, os índices ENOS e as temperaturas da superfície do mar já foram analisados em relação à incidência da dengue em diversos países (Morin et al, 2013). Cazelles et al, (2005) na Tailândia e Colón-González et al (2011) no México comprovaram associação entre o ENOS e transmissão de dengue; enquanto em estudo realizado em Porto Rico por Johansson et al. (2009) pequena e esporádica associação foi encontrada. Para Morin et al (2013) a inconstância desta associação reflete a variação regional dos efeitos do ENOS sobre a precipitação e a temperatura.

- 11 No Rio Grande do Sul, segundo Berlato e Fontana (2003) e Grimm (2009) em anos de forte El Niño chove bem mais que a média na primavera e começo do verão (outubro, novembro e dezembro) no ano inicial do evento, e no final do outono e começo do inverno (abril, maio e junho) do ano seguinte. Em anos de La Niña há uma forte tendência do final de outono, inverno e primavera serem mais frios que o “normal” (especialmente maio, junho, julho, outubro e novembro) (Berlato e Fontana, 2003) . Isto ocorre porque, segundo Pereira, Reibota e Ambrizi (2017) as frentes frias passam a se deslocar com mais rapidez resultando em temperaturas mais baixas que o normal e menores acumulados de precipitação no Rio Grande do Sul.
- 12 Além da variabilidade anual, Marengo et al (2007) e o Painel Brasileiro sobre Mudanças Climáticas (2014) indicam, com base em modelos climáticos globais e regionais, uma tropicalização do clima do sul do Brasil para os próximos 90 anos.
- 13 Neste texto são colocadas em evidência algumas relações entre a variabilidade do clima e as ocorrências de dengue no Rio Grande do Sul, entre 2007 e 2017. Esta abordagem encontra-se perfilada no âmbito da Geografia da Saúde, notadamente no que concerne à vertente da nosogeografia, que coloca no centro da análise a interação entre elementos do meio ambiente e da sociedade na origem e dinâmica das doenças que afetam as populações humanas (Mendonça et al, 2014; Buffon e Mendonça, 2017).

Metodologia e técnicas da pesquisa

- 14 O Sistema Nacional de Agravos e Notificações (SINAN) constitui uma rede informatizada, que integra diferentes unidades territoriais: municípios, regiões de saúde, estados e país. Desde 1999, a descentralização política e administrativa do Sistema Único de Saúde (SUS) no Rio Grande do Sul está implementada através de 19 Unidades Regionais de Coordenação da Saúde (CRS) compostas, por sua vez, por um conjunto municípios (SES/RS, 2002). Para este trabalho, os dados confirmados de dengue por município e CRS foram obtidos da base estadual deste sistema SINAN-NET/RS.
- 15 A figura 2 indica a distribuição das CRS no Rio Grande do Sul. Algumas destas regiões apresentam maior homogeneidade quanto às características de altimetria, outras nem tanto, como é o caso das regiões que agrupam municípios situados em diferentes unidades de relevo (1, 8, 13 e 16).

Figura 2- Rio Grande do Sul - Distribuição das 19 Coordenadorias Regionais de Saúde e estações meteorológicas de referência.



- 16 Primeiramente, foram contabilizados para o conjunto do território rio-grandense e por CRS o total anual de casos confirmados e confirmados autóctones de dengue. Os totais obtidos por CRS a cada anos foram distribuídos pelas regiões de saúde do estado através de figuras geométricas proporcionais. Assim resultaram duas coleções de mapas para o período de análise (2007-2017).
- 17 Como indicador de variabilidade climática, Dubreuil et al (2017) aplicaram o método de Köppen, porém não as médias definidas a partir de 30 anos de registro, mas para cada ano em separado. Assim definem o “tipo climático anual” (TCA) do ano considerado, que pode corresponder ou não ao “tipo climático de Köppen” baseado em normais climatológicas. Considerando a sazonalidade do mosquito da dengue, o ano contabilizado neste trabalho iniciou pelo inverno (junho, agosto, setembro), indo até o outono seguinte (março, abril, maio), quando normalmente ocorre o maior número de casos da doença.
- 18 Segundo Dubreuil et al (2017) os limiares definidos para os TCA são os mesmos propostos na classificação original de Köppen e dependem dos dados de temperatura e precipitação observados para cada mês. A metodologia clássica distingue os climas em função dos seus regimes térmicos (A, C, D, E) e subtipos térmicos (a, b, c, d, h e i) e pluviométricos (BW, BS e subtipos, m, s e w).
- 19 A primeira letra do tipo climático do Rio Grande do Sul é C, que significa um Clima mesotérmico, com temperatura média do ar nos 3 meses mais frios compreendida entre -3°C e 18°C e temperatura média do mês mais quente superior a 10°C e estações de verão e inverno bem definidas. Para os climas C a classificação, segundo o regime pluviométrico, identifica os tipos: f – nenhum mês seco, ou seja, o mês menos chuvoso apresenta pelo menos 60mm de precipitação. O tipo w corresponde àquele no qual a precipitação do mês

mais seco está entre 60mm e $[100 - (\text{precipitação anual})/25]$. O tipo s (estação seca de verão) está relacionado aos anos em que o mês mais chuvoso do verão recebe menos de 1/3 da precipitação do mês mais chuvoso do inverno. Por fim, os subtipos a e b que se aplicam aos tipos “Cs”, “Cw” e “Cf”, permitem diferenciar os climas entre: a- de verões quentes (temperatura média do mês mais quente superior a 22°C) e b- aqueles com verões frescos (temperatura média do mês mais quente inferior a 22°C).

- 20 Para cada estação, o cálculo das temperaturas médias foi realizado a partir da média das temperaturas mínima (Tn) e máxima (Tx), um método diferente da média compensada usada pelo INMET. O método adotado aqui geralmente proporciona valores de temperatura média, entre 1 e 2 ° C superior (Dubreuil et al, 2017). Para algumas regiões de saúde do estado não foi possível obter amostragem devido à falta de informação de qualidade ou falta de informação suficiente. Neste caso, foram utilizados os dados da estação meteorológica em área próxima e similar em termos paisagísticos.
- 21 Os dados mensais, de junho de 2006 à maio de 2017, para as 16 estações meteorológicas foram obtidos no BDdmp (Banco de dados para Ensino e Pesquisa) do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). Levando em conta a sazonalidade do mosquito da dengue, o ano contabilizado neste trabalho iniciou pelo inverno (junho, agosto, setembro), indo até o outono seguinte (março, abril, maio), quando normalmente ocorre o maior número de casos da doença.
- 22 Nem todas estas regionais de saúde estavam contempladas com uma estação meteorológica com dados disponibilizados no BDMEP, mas para algumas CRS havia duas ou mais estações. Para as que não tinham estação (Quadro 1).

Quadro 1- Coordenadorias de Saúde do Rio Grande do Sul, sede, número de municípios abrangidos e suas estações meteorológicas

Nome	Cidade sede	Nº Municípios	Estações INMET
1ªCRS	Porto Alegre	24	Porto Alegre
2ªCRS	Porto Alegre	42	Porto Alegre
3ªCRS	Pelotas	22	Pelotas, Santa Vitória do Palmar
4ªCRS	Santa Maria	30	Santa Maria
5ªCRS	Caxias do Sul	50	Caxias do Sul, Bom Jesus
6ªCRS	Passo Fundo	58	Passo Fundo
7ªCRS	Bagé	7	Bagé
8ªCRS	Cachoeira do Sul	13	Encruzilhada do Sul
9ªCRS	Cruz Alta	12	Cruz Alta
10ªCRS	Alegrete	13	Uruguaiana
11ªCRS	Erechim*	31	Lagoa Vermelha, Passo Fundo

12ªCRS	Santo Angelo	24	São Luiz Gonzaga
13ªCRS	Santa Cruz do Sul*	12	Santa Maria
14ªCRS	Santa Rosa*	22	São Luiz Gonzaga
15ªCRS	Palmeira das Missões*	26	Passo Fundo
16ªCRS	Lajeado*	40	Bento Gonçalves
17ªCRS	Ijuí*	20	Cruz Alta
18ªCRS	Osório	22	Torres
19ªCRS	Frederico Westfahlen	29	Iraí

* Sem dados de estação no BDMep para nenhum dos municípios da CRS.

- 23 Também foram utilizados dados de anomalias da temperatura da superfície do mar (TSM) da região do Niño 3.4 (5°N-5°S, 120°-170°W), fornecidos pela Administração Nacional Oceânica e Atmosférica (NOAA) no seu banco de dados, denominado NCDC (National Climatic Data Center). Estes dados são apresentados por um índice que representa uma média de três meses de anomalias e foram utilizados para identificar anos com eventos extremos de El Niño Oscilação Sul. Eventos são definidos, segundo Trenberth (1997), quando cinco períodos de três meses sobrepostos consecutivos apresentarem anomalia maior ou igual a + 0,5 °, para eventos quentes (El Niño) e eventos frios (La Niña), quando por este mesmo período as anomalias apresentarem valor igual ou inferior a -0,5. O limiar é subdividido em eventos Fracos (com anomalias de 0,5 a 0,9 TSM), Moderados (1,0 a 1,4), Fortes (1,5 a 1,9) e Muito Fortes ($\geq 2,0$).
- 24 Por fim, também foi realizada um teste de correlação linear simples, entre as ocorrências anuais de dengue autóctone por CRS e o índice do ENOS, para verificar se variáveis são independentes ou variam juntas. Ou seja, foi uma análise que serviu simplesmente, para comprovar ou não uma variação concomitante entre duas variáveis, não significando, a priori, que uma é causa da outra, visto que muitas outras variáveis, não consideradas no estudo, podem afetar o comportamento da variável dependente, ou seja, os casos de dengue. Portanto, foi calculado o índice médio anual de anomalias da temperatura da superfície do Oceano Pacífico na região Niño 3.4 (5N-5S, 120-170W), aqui denominado IOS, com base nos dados de anomalia média de 3 meses para a região de Niño 3.4, disponibilizados pelo CPC/NWS/NOAA, que foi correlacionado aos casos de dengue do total do estado e por CRS. Os resultados regionalizados desta correlação são apresentados em mapa, no qual correlação forte significa que o resultado ficou entre 0,7 e 0,9; correlação moderada se estiver entre 0,5 a 0,7; valores entre 0,3 a 0,5 indicam uma correlação fraca; e valores entre 0 a 0,3 indicam uma correlação desprezível. Não houve resultados negativos, mas algumas CRS não apresentaram nenhum caso autóctone de dengue em todo período.

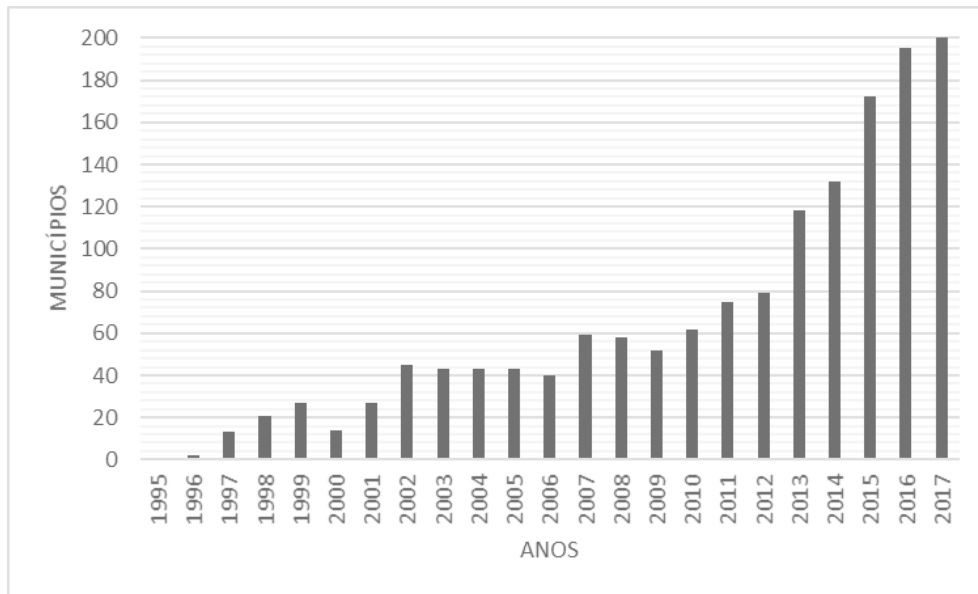
Resultados – Clima e dengue no Rio Grande do Sul

- 25 Os resultados da investigação são apresentados em três subseções: a primeira apresenta uma breve história da doença no Rio Grande do Sul; na segunda dispõe-se à distribuição espacial da dengue neste estado, entre 2007 e 2017; na terceira apresenta-se, de forma regionalizada, a especificidade climática de cada ano deste período e, na quarta são analisadas possíveis relações entre clima e ocorrência de dengue durante os mesmos anos.

Evolução da dengue no Rio Grande do Sul

- 26 No Brasil, segundo o Ministério da Saúde, a dengue tem caráter cíclico, há anos em que ocorrem epidemias enquanto há outros em que há menos casos. Assim, a taxa anual é bastante variável, ano a ano: enquanto em 2013 foi de 709 casos/100.000hab, em 2014 foi de 250 casos/100.000 habitantes, em 2015 foi de 820/100.000habitantes e, por fim em 2016, foi de 731 casos a cada 100 mil habitantes. A dengue prolifera em todos os estados da nação (MENDONÇA, SOUZA e DUTRA, 2009, p.259), mas no Rio Grande do Sul, comparativamente, apresenta baixos coeficientes de incidência, usualmente menores que quatro casos por 100 mil habitantes; somente em anos recentes as taxas cresceram, tendo seus máximos em 2010 (31,6/100.000hab) e 2016 (21,5/100.000hab) (SES/RS, 2017 e FEE).
- 27 O primeiro foco do mosquito *Aedes aegypti* no Rio Grande do Sul (RS) foi identificado em 1995, no município de Caxias do Sul; no ano seguinte, a doença passou a ser de notificação compulsória. Também neste período, o Ministério da Saúde começa a implantar ações relativas ao Plano de Erradicação do *Aedes aegypti* (PEAa), que, posteriormente, muda para uma perspectiva de controle e transforma-se no Programa Nacional de Controle da Dengue (PNCD) e se estende a todo o território nacional. No estado do Rio Grande do Sul, em 2000, a Secretaria Estadual da Saúde (SES) descentraliza as ações epidemiológicas de controle do mosquito (SES/RS, 2008).
- 28 A partir de 1995, o número de municípios nos quais o mosquito foi encontrado cresceu exponencialmente (figura 3), tanto que em 2017, praticamente a metade dos 497 municípios deste estado registraram a presença do mosquito (SES/RS, 2017). Este aumento do número de municípios nos quais se registra o vetor acaba também por influenciar na distribuição da doença.

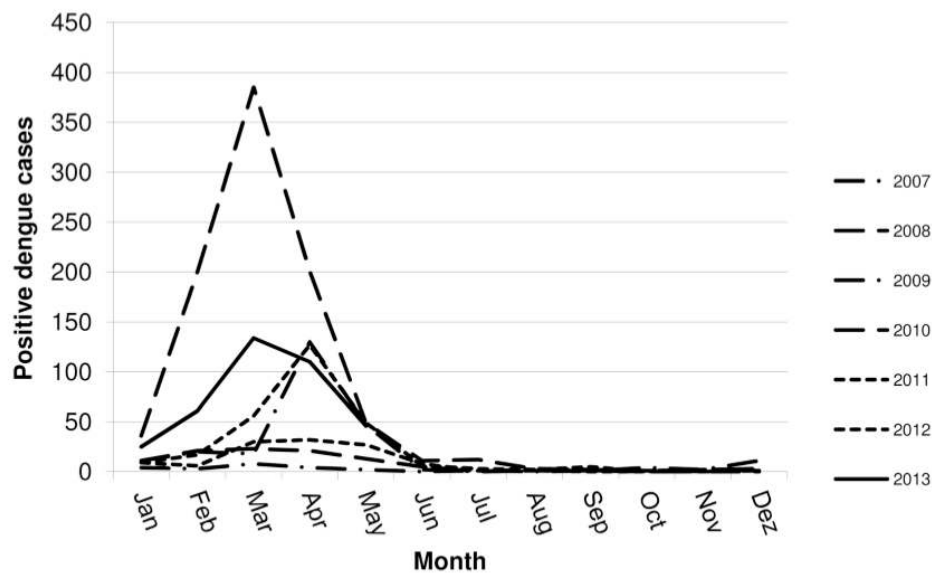
Figura 3- Municípios com notificação de mosquito *Aedes aegypti* no Rio Grande do Sul, entre 1995 e 2017.



Fonte: SES/CEVS/RS, 2017.

- 29 Historicamente, no Rio Grande do Sul se registra a circulação da dengue desde 1996, através dos denominados casos importados, de pessoas infectadas em outros estados do país ou no exterior. Esta situação se mantém até o ano de 2006; no entanto, houve uma mudança em 2007 com a confirmação dos primeiros casos de dengue autóctone, ou seja, com transmissão local, nas regiões noroeste e norte do Estado (Tumioto et al., 2014; Callegaro, Battisti, e Daroit, 2017).
- 30 No que se refere à distribuição da ocorrência da dengue no Rio Grande do Sul ao longo do ano, cabe salientar que, apesar de coincidirem os períodos de maior incidência da doença com outras áreas tropicais do país, as razões são diversas. Em grande parte do Brasil tropical do Hemisfério Sul, as ocorrências de dengue coincidem com o período mais chuvoso do ano. No Rio Grande do Sul as infecções por dengue ocorrem durante os períodos mais quentes do ano. Assim, o máximo de registros da doença ocorre nos primeiros meses do outono (março, abril), e pouquíssimos casos são reportados de julho a novembro (inverno e primavera), como demonstrou Tumioto et al.(2014) (Figura 4).

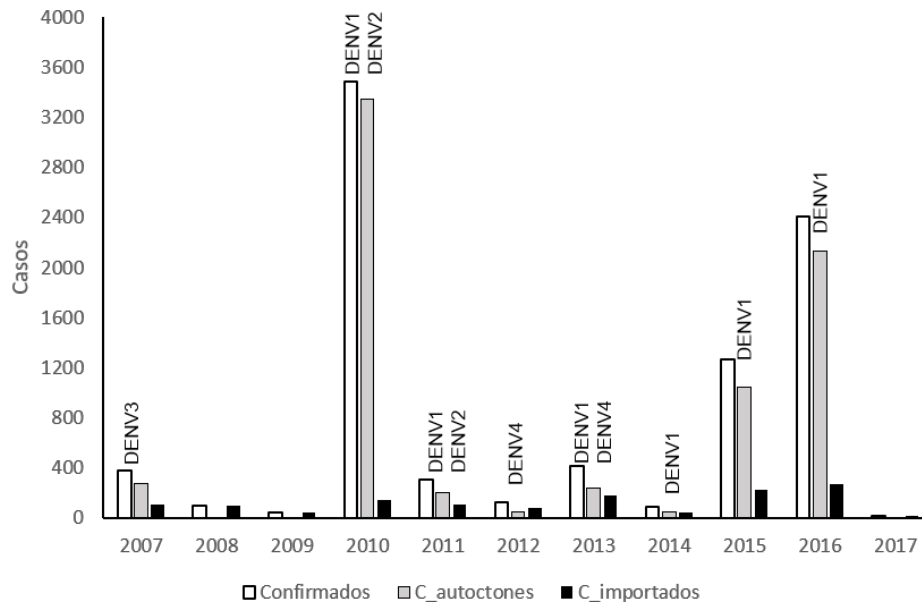
Figura 4- Rio Grande do Sul - Distribuição mensal dos casos positivos de dengue (2007–2013).



Fonte: Tumoto et al.(2014).

- 31 No Rio Grande do Sul há uma grande variabilidade interanual e espacial dos casos positivos de dengue, ora estes casos ocorrem mais no norte e noroeste do estado, ora na região metropolitana. Ao longo destes anos também já circularam todos os quatro sorotipos da dengue neste estado (DENV1, DENV2, DENV3 e DENV4), sendo que DENV 1 e DENV2 predominaram nos anos com maior número de casos registrados (figura 6).
- 32 Durante o período de análise escolhido (2007 a 2017), o ano que registrou o maior surto, como já apresentado, foi 2010 (3646 casos positivos de dengue); porém, somente nos anos 2015 e 2016, todas as dezenove coordenadorias regionais de saúde (CRS) do estado registraram casos positivos da doença (OLIVEIRA et al, 2017).

Figura 5 - Distribuição dos casos confirmados (autóctones e importados) e dos sorotipos da dengue no Rio Grande do Sul, entre 2007 e 2017.

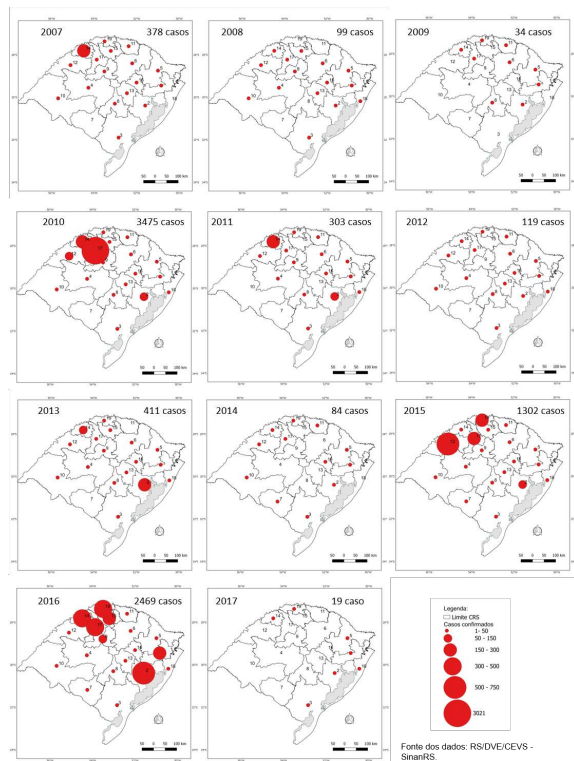


Fonte: SINAN/MS/BRASIL (2017); Tumoto et al. (2014); Callegaro Battisti, e Daroit (2017); SES/CEVS/RS, 2017.

A ocorrência de dengue de 2007 a 2017

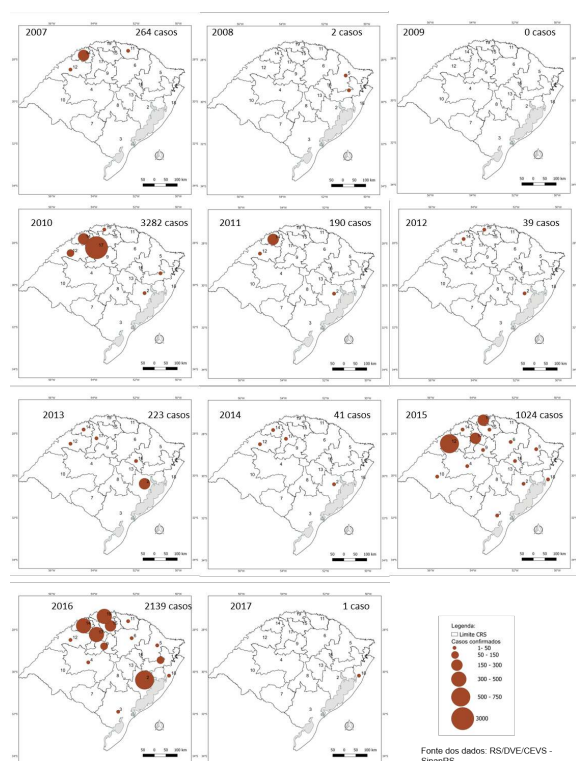
- 33 Com o propósito de evitar a ocorrência de infecções pelo vírus da dengue, detectar precocemente as epidemias, controlar as epidemias em curso, reduzir o risco de transmissão da doença nas áreas endêmicas e ainda reduzir a sua letalidade mediante diagnóstico precoce e tratamento oportuno e adequado, o agravo deveria ser notificado à autoridade sanitária o mais rapidamente possível. As notificações registradas passam a integrar o SINAN (Sistema Nacional de Agravos de Notificação). Os primeiros casos confirmados se registram após análise laboratorial, porém, quando há uma clara circulação viral numa localidade, para os demais casos, o critério de confirmação é clínico-epidemiológico.
- 34 Para os casos confirmados, ainda é feita uma distinção entre os casos autóctones, contraídos no município de notificação do caso; importados, em que a pessoa viajou e, provavelmente, contraiu a doença em outro lugar dentro ou fora do estado; e, ainda, os de origem não registrada.
- 35 A princípio, espera-se que os casos autóctones sejam aqueles que mais relação tenham com o clima regional ou local, no entanto, como há uma interdependência destes com os casos importados, neste trabalho foram considerados tanto o total de casos confirmados por região de saúde, como os casos autóctones.
- 36 A coleção de mapas com a distribuição dos casos confirmados de dengue por Coordenadoria de Saúde no Rio Grande do Sul para o período analisado (Figura 6), mostra que, neste estado, ainda são poucos os casos em comparação a outros estados do Brasil, e que há variabilidade de um ano para outro.

Figura 6- Casos confirmados de dengue por Coordenadoria Regional de Saúde entre 2007 e 2017.



- 37 No ano de 2007, os 378 casos confirmados ocorreram em diferentes CRS do estado, mas com uma concentração maior na CRS-14 (com 249 casos). Somente a CRS-7 e a CRS-18 não registraram casos positivos. No ano de 2008 e 2009 foram menos casos, mais distribuídos no primeiro ano e mais restritos no segundo. O ano de 2010 foi o que registrou o maior número de casos positivos no período (3475), dos quais 3021 ocorreram na CRS-17. Neste ano, somente a CRS-7 não registrou nenhum caso. Os anos de 2011 e 2012, foram novamente de menos casos. Em 2013 foram 411 casos, dos quais 239 ocorreram na Região Metropolitana. Em 2014, novamente foi menor o número de casos confirmados, sendo que sete regiões não confirmaram nenhum caso da doença. Nos dois anos seguintes, 2015 e 2016, a doença foi confirmada em todas as CRS, sendo que em 2015 foram 1302 casos e, em 2016, 2469 casos, a maior parte deles na CRS-2, CRS-19, CRS-17, CRS-14 e CRS-15. Até setembro de 2017, havia somente 19 casos confirmados, sendo que em 12 CRS a doença não foi confirmada.
- 38 A figura 7 apresenta a distribuição dos casos autóctones de dengue no Rio Grande do Sul entre 2007 e 2017. Os casos autóctones são aqueles que tem maior relação com as condições locais, dentre elas aquelas relacionadas ao clima.

Figura 7- Casos autóctones de dengue por Coordenadoria Regional de Saúde entre 2007 e 2017.



- 39 O ano de 2007 foi o primeiro em que se registraram casos autóctones no Rio Grande do Sul. Do total de 264 casos, 231 foram registrados na CRV-14 e na CRV-11. Em 2008, só foram registrados dois, em 2009, não se registrou nenhum caso autóctone e, no ano 2017, somente um caso na CRV-18. O número máximo de casos autóctones (3282) ocorreu em 2010, porém estes casos ocorreram muito concentrados, 3000 casos ocorreram na CRV-17. Nesta coleção de mapas, constata-se que, ainda que em 2015 e 2016 o número total de casos tenha sido um pouco menor que em 2010, os casos se distribuíram mais por diferentes regiões de saúde, com uma concentração maior na CRV-12 (516 casos), CRV-17 (224 casos) e CRV-19 (177 casos) em 2015; e nas CRV-2 (542 casos), CRV-19 (428 casos), CRV-17 (395 casos) e CRV-14 (361 casos) em 2016. Esta distribuição parece se relacionar ao gráfico da figura 2, que mostra que o vetor da dengue, o mosquito *Aedes aegypti*, se espalhou pelo estado no período analisado, e enquanto que em 2007 ele foi registrado em 60 municípios, em 2017 já foi encontrado em quase 200 municípios.

Tipos climáticos anuais no Rio Grande do Sul no período 2007 a 2017

- 40 A análise dos tipos climáticos anuais resultou que, se considerarmos os dados mensais anuais e não a normal climatológica (1961-1990), ocorreram no período de análise cinco tipos climáticos no Rio Grande do Sul; são eles: “Cfa”, “Cfb”, “Cwa”, “Cwb” e “Csa” (Quadro 2). O tipo “Cfa” é dominante porque foi o que resultou em 128 dos 176 tipos analisados.

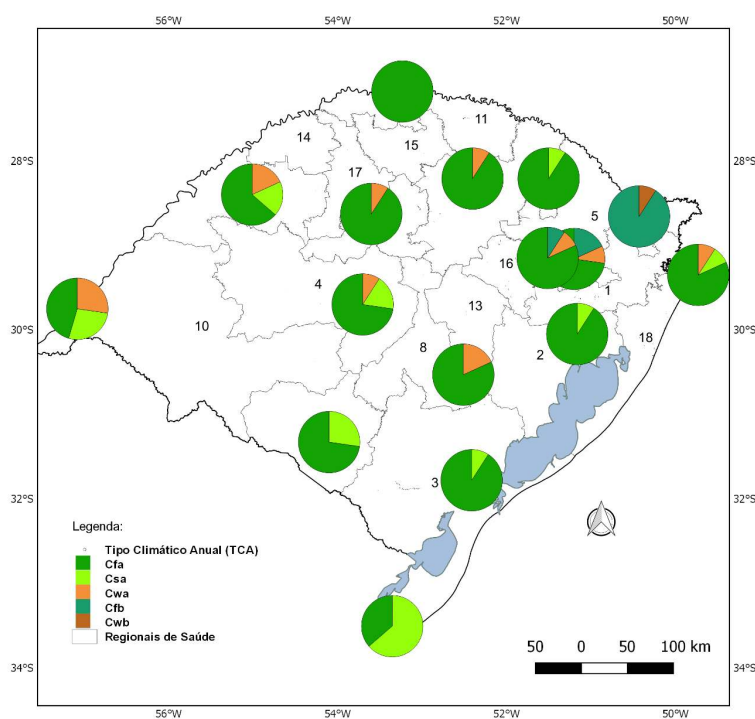
Quadro 2– Frequência do TCA por estação meteorológica no período 2007-2017.

Localidade	Long (°W)	Lat(°S)	Alt (m)	Cfa	Csa	Cwa	Cfb	Cwb
Pelotas	-52.41	-31.78	13	10	1	0	0	0
Porto Alegre	-51.16	-30.05	47	10	1	0	0	0
Cruz Alta	-53.60	-28.63	472	10	0	1	0	0
Passo Fundo	-52.40	-28.21	684	10	0	1	0	0
Lagoa Vermelha	-51.50	-28.21	840	10	1	0	0	0
Bento Gonçalves	-51.51	-29.15	640	9	0	1	1	0
Encruzilhada do Sul	-52.51	-30.53	423	9	0	2	0	0
Iraí	-53.23	-27.18	247	11	0	0	0	0
Torres	-49.73	-29.35	5	9	1	1	0	0
Caxias do Sul	-51.20	-29.16	760	8	0	1	2	0
Bagé	-54.10	-31.33	242	8	3	0	0	0
Santa Maria	-53.70	-29.70	95	8	2	1	0	0
São Luiz Gonzaga	-55.01	-28.40	245	7	2	2	0	0
Uruguaiana	-57.08	-29.75	62	5	3	3	0	0
Santa Vitória do Palmar	-53.35	-33.51	24	4	7	0	0	0
Bom Jesus	-50.43	-28.66	1047	0	0	0	10	1

Fonte: BDMEP/INMET (organização Erika Collischonn e Vincent Dubreuil, 2017).

- 41 O mapa da Figura 8 representa, para cada uma das estações meteorológicas, a frequência de cada TCA durante o período 2007-2017.

Figura 8 – Frequência dos tipos climáticos anuais no Rio Grande do Sul para o período 2007-2017.



- 42 O “Cfa” é de fato o TCA que predomina no Rio Grande do Sul: na estação Iraí ocorreu todos os anos e, em outras cinco, este tipo climático ocorreu em 10 dos 11 anos, em três estações ocorreu em 9 anos e, em outras três, em 8 dos 11 anos analisados. Para algumas estações meteorológicas, principalmente as do sul e oeste do estado, o tipo “Csa” (seco no verão) apareceu com maior frequência. O tipo “Cfb”, que pelas normais ocorre em uma área mais extensa, predominou em termos de tipo climático anual somente na estação de Bom Jesus, ocorrendo em menor frequência nas estações meteorológicas de Bento Gonçalves e Caxias do Sul. Este tipo não foi registrado em Lagoa Vermelha e Encruzilhada do Sul, estações às quais o “Cfb” é atribuído como Tipo Climático médio. O número menor de “Cfa” nestas estações pode, em parte, resultar da diferença no cálculo da média de temperatura, já mencionado. No centro e norte do estado ainda ocorreram, com alguma frequência, as variantes “Cwa” e “Cwb”, com um regime de chuvas marcado pela tropicalidade (com período seco no inverno e muito chuvoso no verão).

As relações entre clima e dengue

- 43 O período de dados considerados neste trabalho, de junho de 2006 a maio de 2017, ajusta-se aproximadamente ao período considerado pelo Serviço Nacional de Meteorologia da Austrália para classificar o ano como de El Niño, de La Niña ou neutro. A distribuição dos episódios extremos do El Niño Oscilação Sul são os representados no quadro 3:

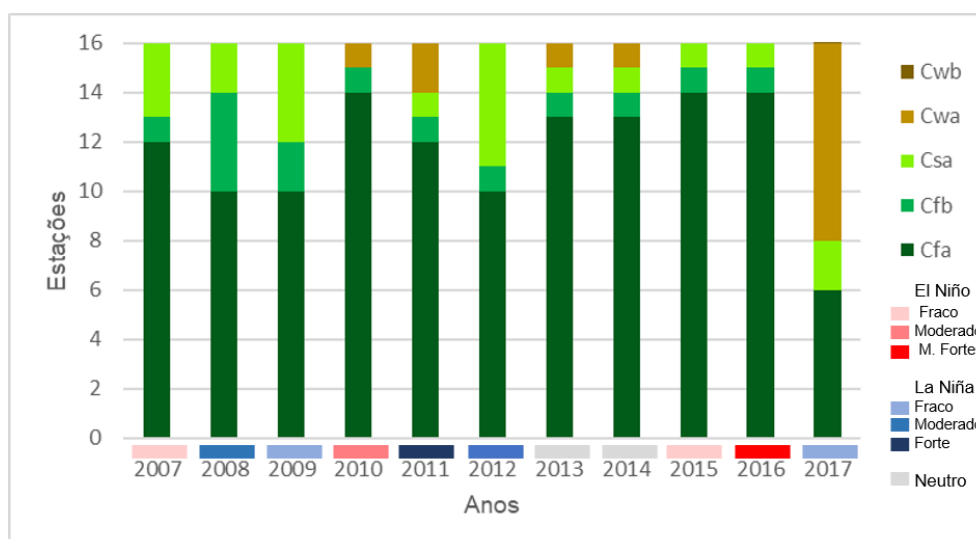
Quadro 3- Anos de El Niño e La Niña entre 2007 e 2017.

El Niño			La Niña		
Fraco	Moderado	Muito Forte	Fraco	Moderado	Forte
2006-07	2009-10	2015-16	2008-09	2011-12	2007-08
2014-15			2016-17		2010-11

Fonte: <http://www.bom.gov.au/climate/enso/>

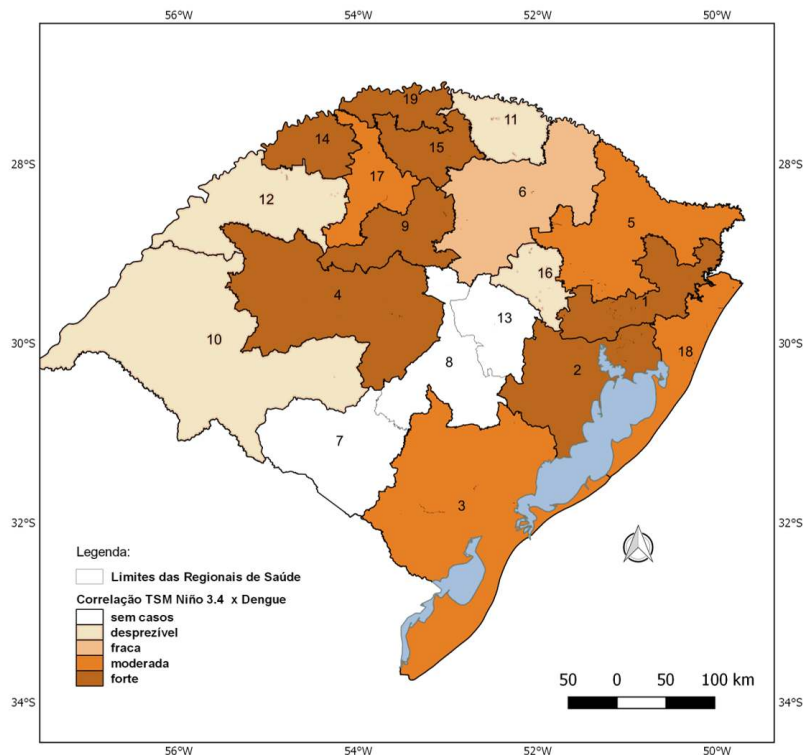
- 44 A figura 9 foi elaborada para mostrar a distribuição da frequência anual dos tipos climáticos anuais ocorridos no Rio Grande do Sul de 2007 a 2017, considerando as 16 estações meteorológicas INMET analisadas neste trabalho, justaposta à classificação anual do tipo de evento ENOS. O tipo climático “Cfa” foi mais frequente para as diferentes estações meteorológicas do Rio Grande do Sul nos anos de 2007, 2010, 2011, 2013, 2014, 2015 e 2016. Também foram estes mesmos anos em que mais casos de dengue autóctone foram registrados no estado. Da leitura da figura pode-se deduzir que em anos de El Niño e em anos neutros, o tipo climático “Cfa” predominou em, pelo menos, 75% das estações. Já em anos de La Niña se amplia a participação de outros tipos climáticos, sem existir um padrão de participação.

Figura 9- Frequência dos TCA no Rio Grande do Sul e classificação do ano quanto ao ENOS.



- 45 Os anos de maior incidência de dengue autóctone no estado foram, em ordem, 2010, 2016, 2015, 2007 e 2013. Afora o último, que foi um ano neutro, os demais foram anos de El Niño. Em todos estes anos predominou o tipo climático “Cfa” entre as 16 estações consideradas na pesquisa.
- 46 Por fim, como já exposto, foi realizada a correlação entre média anual das anomalias mensais da TSM Niño 3.4 e a ocorrência de casos autóctones de dengue no ano. Como as anomalias positivas indicam El Niño e as anomalias negativas La Niña, constatou-se para o estado como um todo uma forte correlação (0,8) entre anos de El Niño e a ocorrência de casos de dengue autóctone. A figura 20 apresenta a distribuição desta correlação por Coordenadorias Regionais de Saúde (Figura 10).

Figura 10- Correlação entre casos de dengue autóctone por CRS e anomalias do ENSO para o período 2007-2017.



- 47 Pela regionalização da saúde foram sete das dezenove as regionais de saúde cujas ocorrências anuais de dengue autóctone apresentaram correlação forte (0,7 a 0,9) com anos de El Niño. São elas: CRS-1, CRS-2, CRS-4, CRS-9, CRS-14, CRS15, CRS-19. Outras quatro regionais apresentaram correlação moderada, são elas: CRS-3, CRS-5, CRS-17, CRS-18. A CRS-6 ainda apresentou fraca correlação. As regionais de saúde CRS-7, CRS-8 e CRS-13 são aquelas onde não houve casos autóctones no período, segundo o SINAN.

Conclusões

- 48 O Rio Grande do Sul, em comparação a outros estados do país, apresenta baixos coeficientes de incidência da dengue. Neste estudo tomou-se por base os dados objetivos relacionados a mudanças no quadro da doença, tais como: o número de municípios nos quais o mosquito está presente aumentou exponencialmente de 2007 à 2017; o máximo de casos autóctones ocorreu em 2010, porém em 2015 e 2016 os registros da doença aconteceram em todas as regionais de saúde; todos os sorotipos da dengue circularam pelo estado, com predomiância do tipo 1.
- 49 Oliveira et al (2007) afirmaram que a dengue passou a ocorrer num estado dominado pelo o tipo climático de Köppen “Cfa”, segundo as normais climatológicas. Neste estudo, foi realizado um exame para avaliar se a afirmação se verifica, ou se a ocorrência da doença está mais relacionada à variabilidade climática. Foram realizados dois tipos de análises de variabilidade para o recorte temporal definido: a primeira baseada na discriminação dos tipos climáticos anuais do clima (TCA) e a segunda baseada nas anomalias de temperatura superficial do Oceano Pacífico.

- 50 Da primeira análise conclui-se que há predomínio do tipo climático “Cfa” no Rio Grande do Sul, pois 71% dos 176 TCA calculados resultaram neste tipo climático. Constatou-se também que, nos anos de maior registro de casos de dengue autóctone, o tipo “Cfa” predominou em mais de 75% das estações meteorológicas consideradas. Em anos de menor registro de casos a variabilidade dos tipos climáticos foi maior; nestes, os TCA “Cfa” e “Cwa” tiveram sua participação aumentada. Outra constatação resultante desta análise foi que o TCA “Cfb” teve um domínio mais restrito do que aquele publicado no Atlas Climático do Rio Grande do Sul.
- 51 Segundo a abrangência do clima “Cfb” representada no referido Atlas as estações Bom Jesus, Lagoa Vermelha, Caxias do Sul, Bento Gonçalves e Encruzilhada do Sul deveriam apresentar este tipo climático como dominante. Pela análise realizada neste estudo somente Bom Jesus apresentou maior frequência do tipo climático “Cfb”; nas demais estações predominou o tipo “Cfa”. Claro está que o período considerado para a realização do Atlas foi o das Normais Climatológicas (1961-1990), enquanto neste estudo foi analisado o período dos últimos 11 anos (2007-2017). Além disso, os valores de temperatura utilizados para o cálculo médio não foram as médias compensadas INMET. Outrossim, vale salientar que os resultados parecem indicar uma tendência de aquecimento do clima do Rio Grande do Sul na última década.
- 52 Destaca-se ainda que no centro-norte do estado ocorreram, em alguns anos, os tipos “Cwa” e “Cwb”, com regime de chuvas predominantemente estival, similar ao que ocorre em estados mais ao norte do Brasil; no sul do estado, por outro lado e concomitantemente ou não, ocorreu um regime mais semelhante ao tipo mediterrâneo (Csa), com precipitações abundantes no inverno e verões secos.
- 53 Desta parte da análise conclui-se que mais de um século após o seu estabelecimento o método de classificação climática de Köppen ainda possibilita uma análise relevante, desde que se subverta a base da versão inicial, ou seja, desde que não seja utilizadas as Normais Climatológicas de 30 anos. A abordagem pelo “tipo climático anual” renova o método e explicita a variabilidade interanual do clima. A tipologia climática embasada em Normais Climatológicas nem sempre é reveladora da realidade observada num período menor de anos, o que pode indicar tendências de mudança climática.
- 54 Por fim, a análise da variabilidade do clima tendo como base o índice trimensal Niño 3.4 indicou que há forte correlação entre o índice positivo no ano e a ocorrência de dengue autóctone no estado do Rio Grande do Sul como um todo, como também, nas regionais de saúde: CRS-1, CRS-2, CRS-4, CRS-9, CRS-14, CRS15, CRS-19. Em anos de El Niño, os registros totais de casos de dengue autóctone foram mais elevados. Por outro lado, em anos de La Niña, os totais foram mais expressivos.
- 55 As projeções regionalizadas para o clima de grande parte do Rio Grande do Sul, segundo o Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (2014), indicam para a Normal Climatológica 2011-2040 um aumento de 0,5°C na temperatura média, e de 10% na precipitação nos meses de verão (DJF), e de 1°C e 5% na precipitação nos meses de inverno (JJA). Já para a Normal Climatológica 2041-2070 indicam uma elevação de 1°C e 1,5°C na temperatura média, assim como de 20% e 15% na precipitação, para os meses de verão e inverno, respectivamente (YNOUE et al, 2017, p.169). Portanto, as características climáticas anuais futuras e sazonais tendem a se tornar semelhantes àquelas que atualmente ocorrem em anos de El Niño. Assim, a componente climática indica condições cada vez mais favoráveis a ocorrência de dengue autóctone no estado do Rio Grande do Sul em futuro próximo.

- 56 Agradecemos toda a política empreendida pós Constituição de 1988 no Brasil por instituições públicas, universidades, poder legislativo e governos com vistas a melhorar o acesso e a qualidade da informação pública e gratuita e, assim, promover a gestão mais efetiva dos recursos e da pesquisa no país. Esta política que culminou na Lei nº 12.527/2011 - Lei de Acesso à Informação - é que possibilitou aos autores deste texto o acesso ao BDMEP do Instituto Nacional de Meteorologia e ao SINAN - Sistema de Informação de Agravos de Notificação do Sistema Único de Saúde. Vida longa a estes projetos que tanto esforço custaram ao conjunto da sociedade brasileira.

BIBLIOGRAFIA

- Ambrizzi, T. et al. ; Rocha, r.; Marengo, J.A. Cenários regionalizados de clima no Brasil para o século XXI: Projeções de clima usando três modelos regionais. Relatório 3. Ministério do Meio Ambiente (MMA), Secretaria de Biodiversidade e Florestas (SBF), Diretoria de Conservação da Biodiversidade (DCBio). Mudanças Climáticas Globais e Efeitos sobre a Biodiversidade - Subprojeto: Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. Brasília, fevereiro 2007.
- Australian Government/ Bureau of Meteorology. 2017. El Niño /La Niña. Disponível em: <http://www.bom.gov.au/climate/enso/>. Acesso em dez. 2017.
- Berlato, M. A.; Fontana, D. C. El Niño e La Niña: Impactos no clima, na vegetação e na agricultura do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: UFRGS, 110 p., 2003.
- Brasil. Ministério da Saúde [Internet]. Secretaria Executiva. Datasus [acesso em set. 2010]. Informações de Saúde. Informações epidemiológicas e morbidade. Disponível em: <http://www.datasus.gov.br>. Acesso em jan 2018.
- Brasil. Ministério Da Saúde. Dengue - Casos Confirmados, RS, SINAN ONLINE. Disponível em: <http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/idb2005/CapituloB.pdf> >. Acesso em nov. 2017.
- Brasil. Ministério da Saúde. Departamento de Informática do SUS. 2017. Sistema de Informação de Agravos de Notificação – SINAN NET. Disponível sur: <http://www2.datasus.gov.br/DATASUS/index.php?area=0203>
- Brasil. Ministério da Saúde. Mudanças climáticas e ambientais e seus efeitos na saúde: cenários e incertezas para o Brasil / BRASIL. Ministério da Saúde; Organização Pan-Americana da Saúde. – Brasília: Organização PanAmericana da Saúde, 2008.<bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/mudancas_climaticas_ambientais_efeitos.pdf> Acesso em dez.2017.
- Buffon, E. ; Mendonça, F. Análise integrada da vulnerabilidade à diarreia aguda em Curitiba. Confins (Paris), v. 33, p. 1-15, 2017.
- Cavalcanti, I.; Ambrizzi, T. In: Cavalcanti, N. Ferreira, M.A. Silva Dias, M. A. Justi. (Org). Tempo e Clima no Brasil. 1ed São Paulo: Oficina de Textos, v.1, p.317-335, 2009.
- Cazelles B, Chavez M, McMichael AJ, Hales S. Nonstationary influence of El Niño on the synchronous dengue epidemics in Thailand. PLoS Med, v.2: e 106, abril 2005. p. 313-318.

Colón-González FJ, Lake IR, Bentham G. Climate variability and dengue fever in warm and humid Mexico. *Am J Trop Med Hyg* 84, 2011. p.757–763.

Departamento de Ciência e Tecnologia do Ministério da Saúde. Doenças negligenciadas: estratégias do Ministério da Saúde *Rev Saúde Pública*, 44(1), p.200-202, 2010.

Dubreuil, V.; Fante, K. P.i; Planchon, O.; Sant'anna Neto, J. L. Les types de climats annuels au Brésil : une application de la classification de Köppen de 1961 à 2015. *Echo Géo*, n.41, juillet/septembre, p. 1-27, 2017.

Fundação de Economia e Estatística (FEE). Estimativas populacionais. 2017. Disponível em: <https://www.fee.rs.gov.br/indicadores/populacao/estimativas-populacionais/> Acesso em dez. 2017.

Grimm, A. M.; Barros, V. R.; Doyle, M. E. Climate variability in Southern South America associated with El Niño and La Niña events. *Journal of Climate*, v. 13, n. 1, p. 35-58, 2000.

Grimm, A. Variabilidade interanual do clima no Brasil. In: Cavalcanti, N. Ferreira, M.A. Silva Dias, M. A. Justi. (Org). *Tempo e Clima no Brasil*. 1ed São Paulo: Oficina de Textos, v.1, p.353-374, 2009.

Instituto Nacional de Meteorologia. 2017. Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa. « Dados da Rede do INMET». Disponible sur: <http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/inicio.php>

Johansson, M.A.; Cummings D.A.T.; Glass, G.E. Multiyear climate variability and dengue—El Niño Southern Oscillation, weather, and dengue incidence in Puerto Rico, Mexico, and Thailand: a longitudinal data analysis. *PloS Med* 6:e1000168, 2009; doi:10.1371/journal.pmed.1000168.

Marengo, J. A. Mudanças climáticas: detecção e cenários futuros para o Brasil até o final do século XXI. In: Cavalcanti, N. Ferreira, M.A. Silva Dias, M. A. Justi. (Org). *Tempo e Clima no Brasil*. 1ed São Paulo: Oficina de Textos, v.1, p.407-424, 2009.

Matzenauer, Ronaldo; Radin, Bernadete; Almeida, Ivan Rodrigues de. (Ed.). *Atlas Climático: Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: Secretaria da. Agricultura Pecuária e Agronegócio; Fundação Estadual de Pesquisa. Agropecuária (FEPAGRO), 2011.

Mendonça, F. Clima, tropicalidade e saúde: uma perspectiva a partir da intensificação do aquecimento global. *Revista Brasileira de Climatologia*, Vol. 1, No . 1, p. 100-112, 2005.

Mendonça, F.; Mattozo, W. ; Fogaca, T. K. . A geografia da saúde no Brasil: Estado da arte e alguns desafios. *Revista Investigaciones Geográficas*, v. 48, p. 41-52, 2014.

Morin, C.W.; Comrie, A.C.; Ernst, K.C. Climate and dengue transmission: evidence and implications. *Environ Health Perspective*, v.121:1264–1272, 2013. Disponível em <http://dx.doi.org/10.1289/ehp.1306556> Acesso em fev.2018.

NOAA National Oceanic and Atmospheric Administration (United States Department of Commerce). Monthly Atmospheric and SST Indices. 2009. <http://www.cpc.noaa.gov/data/indices/sstoi.indices> Available at. Acesso Dez, 2017.

Oliveira, M. M. F; Mendonça, F.; Lara, M. A. M; Bobato, P.; Bandeira, V. F A. «Le climat et l'aedes aegypti dans le sud du Bresil». In: XXXème colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Sfax 03-06 juillet, p. 351-356, 2017.

Organização Pan-Americana da Saúde. Mudança Climática e Saúde: um perfil do Brasil. Ministério da Saúde – Brasília, Organização Pan-Americana da Saúde, 2009. <http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/mudanca_climatica_saude.pdf> Acesso em dez.2017.

- PBMC, 2014: Base científica das mudanças climáticas. Contribuição do Grupo de Trabalho 1 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas [Ambrizzi, T., Araujo, M. (eds.)]. COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 464 pp. Disponível em http://www.pbmc.coppe.ufrj.br/documentos/RAN1_completo_vol1.pdf > Acesso em fev. 2018.
- Pereira, H. R.; Reibota, Michelle Simões; Ambrizzi, Tércio. Características da Atmosfera na Primavera Austral Durante o El Niño de 2015/2016. *Revista Brasileira de Meteorologia*, vol.32 no.2. São Paulo, Apr./June, p. 171-186, 2017.
- Pezzi, L. P.; Cavalcanti, I. F. A. The relative importance of ENSO and tropical Atlantic sea surface temperature anomalies for seasonal precipitation over South America: a numerical study. *Climate Dynamics*, v. 17, p. 205-212, 2001.
- Rao, V. B.; Hada, K. Characteristics of rainfall over Brazil: Annual variations and connections with the Southern Oscillation. *Theor. Appl. Climatol.*, v. 42, p. 81-90, 1990.
- Secretaria Estadual da Saúde /RS. Plano Diretor de Regionalização da Saúde. Porto Alegre, 2002.
- Secretaria Estadual da Saúde do Rio Grande do Sul. Centro Estadual de Vigilância em Saúde. RS.Sinan-RS-Net. Dengue. Disponível em <http://200.198.173.165/scripts/deftohtm.exe?snet/denguersnet>. Acesso dez, 2017.
- Secretaria Estadual de Saúde do Rio Grande do Sul. Centro Estadual de Vigilância em Saúde. Informativo Epidemiológico Dengue, Chikungunya e Zika Vírus Setembro de 2017. Disponível em <http://www.saude.rs.gov.br/upload/arquivos/carga20171136/06093648-informativo-epidemiologico-dengue-chik-e-zika-se-43-2017.pdf> Acesso fev, 2018.
- Secretaria Estadual de Saúde do Rio Grande do Sul. Plano de Contingência para Dengue no Estado do Rio Grande do Sul. 2008. Disponível em: <http://www1.saude.rs.gov.br/dados/1298557617151Plano%20Estadual%20de%20Contingencia%20Dengue%20RS.pdf>. Acesso fev, 2018.
- Teixeira, M.G.; Barreto M.L. Porque devemos, de novo, erradicar o *Aedes aegypti*. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 1, n.1, p. 122-35, 1996.
- Trenberth, Kevin E. The Definition of El Niño. *Bull. American Meteorological Society*, 78, p. 2771-2777, 1997.
- Tumoto, G. L.; Gregianinni, T. S.; Dambros, B. P.; Cestari, B. C.; Nunes, Z. M. A.; Veiga, A. B. V. Laboratory surveillance of dengue in Rio Grande do Sul, Brazil, from 2007 to 2013. *PLoS ONE*. v. 9, n. 8, Article e104394, 6 pp., 2014.
- Werneck, G.L.; Hasselmann, M.H.; Gouvêa, T.G. Panorama dos estudos sobre nutrição e doenças negligenciadas no Brasil. *Ciência & Saúde Coletiva*, v.16, n.1, p.39-62, 2011.
- World Health Organization. Neglected tropical diseases. Disponível: http://www.who.int/neglected_diseases/diseases/en/. Acesso 24/02/2017.
- Ynoue, R. Y.; Reybota, M. S.; Ambrizzi, T.; Silva, G. A. M. *Meteorologia: noções básicas*. São Paulo: Oficina de textos, 2017.

RESUMOS

Este artigo apresenta um estudo da relação entre a variabilidade espacial e temporal dos casos de dengue no estado do Rio Grande do Sul e a variabilidade do clima entre os anos 2007 e 2017. Inicia

por uma breve caracterização da situação do Rio Grande do Sul no contexto da distribuição da dengue no Brasil e define aspectos de variabilidade climática passíveis de serem considerados, tendo em vista a regionalização do gerenciamento do sistema de saúde deste estado. Esclarecidas as delimitações na abordagem do assunto, apresenta-se a metodologia utilizada para analisar os Tipos Climáticos Anuais (TCA), a variabilidade climática e as correlações com a variabilidade da dengue, no período de 2007 a 2017. Dados secundários utilizados para análise foram: valores mensais de temperatura, precipitação e suas normais climatológicas (1961-1990) para 16 estações meteorológicas (INMET) distribuídas no estado; casos confirmados de dengue autóctone para 19 Coordenadorias Regionais de Saúde por ano (SINAN Net-RS); anomalias mensais de temperatura da superfície do mar segundo o índice Niño 3.4 (NOAA/CPC) e eventos ENOS conforme o ano. Com base nos resultados desta análise: questiona-se as usuais tipologias climáticas atribuídas a partir da variabilidade espaço temporal de Tipos Climáticos Anuais (TCA); identifica-se o TCA mais relacionado à ocorrência de dengue; apresentam-se correspondências encontradas entre anomalias anuais com a ocorrência anual de dengue autóctone tanto por regional de saúde como para o conjunto do estado. A correlação mais significativa foi entre ocorrência de dengue e eventos de El Niño.

Cet article présente une étude de la relation entre la variabilité spatiale et temporelle des cas de dengue dans l'Etat du Rio Grande do Sul et la variabilité temporelle et spatiale du climat (2007-2017). Il commence par une brève caractérisation de la situation du Rio Grande do Sul dans le contexte de la distribution de la dengue au Brésil et définit les aspects de la variabilité climatique qui peuvent être envisagés, compte tenu la gestion régionalisé du système de santé de cet état. Après avoir clarifié l'approche du sujet est présenté la méthodologie utilisée pour analyser les types climatiques annuels (TCA), la variabilité climatique et les corrélations avec la variabilité de la dengue, entre 2007 et 2017. Les données secondaires utilisées pour l'analyse étaient: les valeurs mensuelles de température, de précipitations et leur norme climatologique (1961-1990) pour 16 stations météorologiques (INMET) réparties dans l'état; cas confirmés de dengue autochtone pour 19 coordinations sanitaires régionales par an (SINAN Net-RS); anomalies mensuelles de température de surface de la mer selon Niño 3.4 (NOAA / CPC) et événements ENSO selon l'année. Sur la base des résultats de cette analyse: les typologies climatiques habituelles attribuées à la variabilité spatiale temporelle des types climatiques annuels (TCA) sont remises en question; nous identifions le TCA le plus lié à l'apparition de la dengue; des correspondances sont trouvées entre les anomalies mensuelles et annuelles avec l'occurrence annuelle de la dengue autochtone par la santé régionale et l'état dans son ensemble. La correspondance la plus significative était entre l'apparition de la fièvre dengue et les épisodes El Niño.

The approach of the relation between the spatial-temporal variability of cases of dengue fever and climate variability (2007-2017) in the state of Rio Grande do Sul is in the heart of this paper. It begins with a brief characterization of the situation of Rio Grande do Sul in the context of the distribution of dengue in Brazil and defines the aspects of climate variability that can be considered, given the regionalized management of the health system in this state. After presenting the approach of the subject the aim is to present the methodology used to analyze the annual climatic types (AAC), the climatic variability and correlations with the variability of the disease between the years of 2007 and 2017. The secondary data used for the analysis were: the monthly values of temperature, precipitation and their climatological norm (1961-1990) for 16 meteorological stations (INMET) distributed within the state; confirmed cases of indigenous dengue fever for 19 regional health coordinations per year (SINAN Net-RS); monthly sea surface temperature anomalies according to Niño 3.4 (NOAA / CPC) and ENSO events by year. Based on the results of this analysis, the usual climatic typologies attributed to the temporal variability of annual climatic types (AAC) are put into question; we identify the annual climate types most

related to the onset of dengue fever; Associations are found between monthly and annual anomalies with the annual occurrence of dengue fever seen in regional health data and the state as a whole. The most significant correspondence was between the occurrence of dengue fever and El Niño events.

ÍNDICE

Índice geográfico: Rio Grande do Sul

Mots-clés: dengue - Types climatiques annuels - ENSO - variabilité

Keywords: dengue - Annual Climate Types - ENSO - variability

Palavras-chave: dengue - tipo climático anual - ENOS - variabilidade

AUTORES

ERIKA COLLISCHONN

Departamento de Geografia/ICH, Universidade Federal de Pelotas (UFPEL), Brasil,
erika.collischonn@ufpel.edu.br

VINCENT DUBREUIL

Univ Rennes, CNRS, LETG COSTEL- UMR 6554, F-35000 Rennes, France, vincent.dubreuil@univ-rennes2.fr

FRANCISCO DE ASSIS MENDONÇA

LABOCLIMA, Departamento de Geografia, Universidade Federal do Paraná (UFPR), Brasil,
chico@ufpr.br

Observer la Terre pour appréhender spatialement les inégalités de santé : regard historique et prospectif sur l'utilisation de la télédétection dans le domaine de la santé

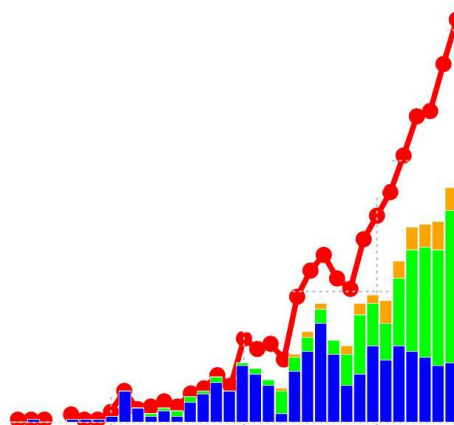
Observar a Terra para analisar a distribuição espacial das desigualdades da saúde: um olhar histórico e prospectivo sobre o uso do sensoriamento remoto no campo da saúde

Observing the Earth for a spatial understanding of health inequalities: a historical and prospective overview of the use of remote sensing in the health field

Vincent Herbreteau, Daouda Kassié, Emmanuel Roux, Renaud Marti, Thibault Catry, Artadji Attoumane, Christophe Révillion, Jérémy Commins, Nadine Dessay, Morgan Mangeas e Annelise Tran

Introduction

- 1 La télédétection aérienne a connu ses premières expérimentations dès le début du dix-neuvième siècle puis s'est réellement développée pendant les première et deuxième guerres mondiales par la prise de photographies militaires (Campbell, 2011). Les premières images satellite apparaissent dans les années 60 mais c'est avec le lancement du satellite Landsat 1 en 1972 puis du satellite SPOT 1 en 1986 que l'observation de la Terre par satellite devient réellement opérationnelle (Campbell, 2011). Ils ont été les précurseurs



de séries de satellites d'observation qui sont aujourd'hui en orbite, et régulièrement renouvelés. Selon leurs caractéristiques, les images satellite peuvent permettre l'identification d'objets au sol de quelques dizaines de centimètres, ou d'avoir des images de la surface terrestre avec une fréquence d'acquisition quotidienne. Le CEOS (Committee on Earth Observation Satellites), qui fédère 60 agences membres ou associées, recense 154 satellites pour l'observation de la Terre en 2018 (dont les caractéristiques sont données sur son portail d'information : <http://database.eohandbook.com/index.aspx>). Si les principaux attraits des données de télédétection sont leurs capacités de couverture et de répétitivité ainsi que leur qualité et leur coût réduit, les analyses de télédétection ne peuvent se passer d'une bonne connaissance in situ des paysages, des objets, ou des sociétés observés. Le processus d'analyse d'image en télédétection (photographies aériennes et scènes satellitaires) découle d'une démarche intellectuelle complexe et rigoureuse (Provencher, 2007). L'identification de chaque objet de l'image présente un degré de difficulté variable fonction de sa nature, et des caractéristiques des images utilisées. Si la photo-interprétation permet un premier niveau d'utilisation des images de télédétection en exploitant les capacités de discrimination de l'oeil humain, son utilisation ne peut s'envisager lorsqu'un nombre trop important d'images et/ou d'objets est considéré. Le développement d'autres méthodes d'analyses faisant appel à des méthodes statistiques et/ou d'apprentissage devient alors nécessaire.

- 2 Les concepts et les principes qui sous-tendent l'utilisation de la télédétection en santé ont été publiés dès la fin des années 1960. Pavlovsky (cité par Cline, 1970) introduit ainsi le concept d'épidémiologie du paysage (landscape epidemiology), qui applique aux agents pathogènes, ainsi qu'à leurs vecteurs et à leurs réservoirs, les concepts, méthodes et outils de l'écologie du paysage. L'épidémiologie du paysage étudie les processus écologiques associés au paysage - considéré selon sa composition (relative à ses différents éléments) et sa configuration (relative à l'organisation spatiale de ses éléments) - qui influent sur la santé des populations. Au regard des progrès importants des dernières années réalisés sur la mise à disposition, la résolution et le coût des images de télédétection, l'ergonomie et la performance des outils logiciels associés, il serait facile de prédire pour bientôt son intégration effective et durable dans les pratiques des acteurs de la santé. Cependant, de telles promesses n'ont pas été véritablement tenues par le passé. Dans un rapport de la NASA de 1971, il est dit que l'apport potentiel de la télédétection aérienne et spatiale en santé pourrait s'avérer comparable à celui des améliorations apportées par Leeuwenhoek au microscope en 1673 (Barnes, 1991). Ce même rapport

précise cependant que le microscope a mis presque 300 ans à effectivement entrer dans la pratique médicale.

- 3 Dans cette étude, nous proposons un regard rétrospectif et prospectif sur l'usage de la télédétection pour éclairer les questions de santé, en essayant de clairement définir les verrous qui ont limité ou limitent encore les usages. Après une première partie plus théorique dédiée aux principes d'acquisition et de traitement des images satellite, nous focalisons la seconde partie sur les différents usages des outils de la télédétection dans le domaine de la santé avant de discuter, dans la troisième partie, des limites, des recommandations et des perspectives d'intégration pour le traitement des questions sanitaires.

La télédétection : un outil d'observation multiscalaire

Principes physiques et géométriques

- 4 La télédétection, littéralement la détection à distance (« remote sensing » en anglais), est : « l'ensemble des connaissances et techniques utilisées pour déterminer des caractéristiques physiques et biologiques d'objets par des mesures effectuées à distance, sans contact matériel avec ceux-ci » (J.O. du 11 décembre 1980) (Girard, 2010). Dans le cadre des systèmes d'informations géographiques (SIG), la télédétection fait référence à l'analyse des images acquises par les capteurs embarqués sur les différents types de plateforme : avions, drones, ou satellites d'observation de la Terre. Cette technique repose sur la mesure des rayonnements du spectre électromagnétique (p.ex. optique, micro-ondes). La télédétection est dite passive quand le capteur n'émet aucune énergie (p.ex. capteur optique passif avec les canaux Rouge, Vert, Bleu), et active lorsque le capteur émet sa propre source d'énergie avant réception (p.ex. capteur RADAR (« Radio Detection and Ranging ») en bandes L, C, ou X). Le rayonnement électromagnétique est atténué différemment par l'atmosphère en fonction de la longueur d'onde (ou fréquence) : on parle de fenêtres atmosphériques. Les bandes des capteurs RADAR sont ainsi peu ou très peu sensibles aux conditions atmosphériques à la différence des capteurs optiques pour lesquels les nuages, en particulier, masquent le sol. Chaque type d'objet observé possède des caractéristiques d'émission et de réflexion propres que l'on nomme « signature spectrale ». Par exemple, la végétation absorbe le rayonnement de la lumière aux longueurs d'onde du rouge et du bleu et réfléchit le vert (d'où sa couleur). L'eau réfléchit les longueurs d'onde du bleu et absorbe fortement les longueurs d'onde de l'infrarouge. Dans le cas des capteurs RADAR, on mesure la part retransmise (rétrodiffusée) par les objets tout en mesurant le temps de trajet des ondes et les changements éventuels de polarisation de l'onde émise.
- 5 Lorsqu'une image est acquise par un capteur, elle contient des erreurs de type radiométrique géométrique. Les particules de l'atmosphère altèrent le rayonnement électromagnétique émis ou réfléchi par la surface imagée par des phénomènes de diffusion, absorption, atténuation ou réfraction. La valeur radiométrique enregistrée au niveau du capteur correspond à l'énergie réfléchie par les objets au sol et modifiée par les effets atmosphériques. La composition de l'atmosphère étant variable dans le temps et dans l'espace, des corrections atmosphériques systématiques sont nécessaires pour comparer l'information issue de deux images de la même zone prises à deux dates différentes. Ces effets atmosphériques peuvent être corrigés via l'application de codes ou

de modèles atmosphériques. Les erreurs radiométriques peuvent également être dues à des défauts instrumentaux. Les corrections et la calibration radiométrique permettent de convertir les comptes numériques de chaque pixel (p.ex. codé sur 8 bits, entre 0 et 255) en une grandeur physique (luminance ou réflectance).

- 6 Les images satellite sont acquises dans la géométrie du capteur et ne sont pas directement superposables à une carte. Plusieurs type de déformations géométriques doivent être prises en compte : la géométrie lors de l'acquisition de l'image (p.ex. l'angle d'incidence, l'orbite), la courbure et la rotation de la Terre, ou encore la topographie. Deux types de traitements géométriques permettent de rendre l'image exploitable dans un SIG : l'orthorectification (chaque pixel est observé en visée verticale, ou nadir) et le géoréférencement (chaque pixel de l'image est associé à un couple de coordonnées géographiques).

Une grande diversité de capteurs pour l'observation de la Terre

- 7 Les satellites d'observation de la Terre ne constituent qu'une part des satellites qui gravitent autour du globe. Les autres sont dédiés aux télécommunications, au positionnement, à la navigation (p.ex. le système américain GPS – Global Positioning System), aux activités militaires et aux activités scientifiques (p.ex. en géodésie). Selon leurs applications, les satellites d'observation suivent différentes orbites dites :
 - géostationnaires (environ 36 000 km). Ces satellites tournent à la même vitesse angulaire que la Terre. Ils se situent toujours au zénith d'un même point sur le plan de l'équateur et offrent une vision large, constante et en temps réel d'une région du globe (Girard and Girard 2010). Ils sont généralement destinés aux observations météorologiques (comme METEOSAT) ou aux télécommunications ;
 - polaires (300-1000 km). Ces satellites défilent le long du globe en passant à proximité des deux pôles à chaque cycle. Cette trajectoire combinée à la rotation de la Terre permet d'observer la quasi-totalité du globe en quelques jours.
- 8 Les satellites à orbite polaire sont souvent héliosynchrones : ils passent toujours à la même heure solaire au-dessus d'une même région de la Terre, ce qui permet d'acquérir les images dans des conditions similaires d'éclairement, et de rendre les scènes comparables (p.ex. suivi de changement) (Girard, 2010). Ce sont ces satellites qui sont utilisés dans le cadre des SIG, et qui nous intéressent ici. On leur associe les principales caractéristiques suivantes :
 - la fauchée qui correspond à la largeur de l'étendue imagée à chaque passage, d'une dizaine à quelques centaines de kilomètres selon le capteur ;
 - différentes résolutions : (i) la résolution spatiale, soit la taille de chaque partie élémentaire de l'image ou pixel (ii) la résolution temporelle, qui est l'intervalle de temps nécessaire pour revisiter un même point terrestre situé à la verticale (visée au nadir) (iii) la résolution spectrale, qui indique le nombre et la taille des bandes de fréquence du spectre électromagnétique échantillonné (iv) la résolution radiométrique, déterminée par la sensibilité à l'intensité de l'énergie radiométrique reçue (ainsi, un capteur 8 bits peut enregistrer $2^8=256$ niveaux d'intensité).
- 9 Généralement, plus la résolution spatiale est élevée, plus la fauchée est courte et le temps de revisite long. Pour un temps de revisite plus court, certains satellites sont lancés en constellations : ainsi, Rapideye est un ensemble de 5 satellites permettant une revisite de 5 jours pour une résolution spatiale de 6,5 mètres. Les capteurs à haute et moyenne

résolutions spatiales, comme ceux embarqués par Landsat (15 à 30 mètres de résolution), ou à moyenne et basse résolution spatiale comme MODIS (de 250 mètres à 1 km), sont généralement gratuits et très largement utilisés. Les images des capteurs à très haute résolution spatiale (THRS) sont souvent onéreuses, et leur acquisition s'effectue via des demandes de programmations (i.e. non systématiques).

- 10 En 2001, l'Agence Spatiale Européenne (ESA) et l'Union européenne ont lancé un programme ambitieux de surveillance globale pour l'environnement et la sécurité (Global Monitoring for Environment and Security - GMES), devenu le programme Copernicus en 2012, afin de rassembler des données satellitaires accessibles et de développer des services opérationnels. Dans le cadre de Copernicus, l'ESA a développé la constellation des satellites Sentinel qui fournissent des images gratuites, optique et RADAR, dans des résolutions complémentaires. Ainsi, les satellites Sentinel-2 A et B produisent des images à haute résolution spatiale (HR) (jusqu'à 10 m), avec une acquisition systématique globale tous les 5 jours. Depuis les années 2010 aussi, de plus en plus de programmes publics ont été élaborés pour faciliter l'accès aux données THRS (comme le programme GEOSUD <http://ids.equipe-geosud.fr/>) en France qui fournit des images SPOT 6/7 et Pléiades). Ils permettent d'effectuer des demandes de programmation à coût réduit (p.ex. 1€ du km²), ou gratuitement pour les scientifiques et les acteurs institutionnels nationaux.
- 11 Nous proposons une liste non exhaustive des capteurs optiques disponibles en programmation ou en archive et utilisés dans les études en lien avec la santé ou potentiellement utilisables (Tableau 1).

Tableau 1 : Liste des principaux satellites et capteurs actuellement utilisés pour l'observation de la Terre avec des applications possibles dans le domaine de la santé.

Satellite / Capteur	Année de lancement (et de fin)	Résolution temporelle optimale (en jours)	Résolution spatiale au nadir (en mètres)	Fauchée (en kms)	Bandes
CBERS-4 PANMUX	2014-	26	5	60	Pan/R/V/B/PIR
DMC-3 A-B-C VHRI-100	2015-	1	1	23	Pan/R/V/B/PIR
FORMOSAT-2 RSI	2004-	3	2	24	Pan/R/V/B/PIR
GeoEye-1	2008-	4	0,41	15	Pan/R/V/B/PIR
IKONOS	1999-	3	0,82	11	Pan/R/V/B/PIR
KOMPSAT-2 MSC	2006-	3	1	15	Pan/R/V/B/PIR
Landsat 5 TM	1984-2011	16	30	185	Pan/R/V/B/PIR/SWIR
Landsat 7 ETM+ Landsat 8 OLI	1999-2013-	16	15	185	Pan/R/V/B/PIR/SWIR
Pléiades 1 A-B HiRI	2011-, 2012-	1	0,7	20	Pan/R/V/B/PIR
Quickbird	2001-2015	7	0,61	16,5	Pan/R/V/B/PIR
Rapideye (5 sats) MSI	2008-	5	6,5	25	R/V/B/RE/PIR
Sentinel-1 A-B	2014-, 2016-	6	5	80	C-band SAR
Sentinel-2 A-B MSI	2014-, 2017-	5	10	290	Pan/R/V/B/RE/PIR/SWIR
SPOT-1-3 HRV	1986-2003, 1990-2009, 1993-1996	3	10	60	Pan/R/V/PIR
SPOT-4 HRVIR	1998-2013	3	10	60	Pan/R/V/PIR/MIR
SPOT-5 HRG	2002-2015	3	2,5	60	Pan/R/V/PIR/MIR
SPOT-6-7 NAOMI	2012-, 2014-	3	1,5	60	Pan/R/V/B/PIR
Terra MODIS	1999-	1	250	2230 km	R/V/B/PIR/SWIR
WorldView-1 WV60	2007-	3	0,5	17,6	Pan/R/V/B/PIR/SWIR
WorldView-2-3 WV110	2009-, 2014-	3	0,46	16,4	Pan/R/V/B/PIR

Apports et utilisations des images de télédétection

Caractéristiques des images

- 12 La télédétection ne permet pas de se dispenser des connaissances de terrain. Ces connaissances sont utiles, voire indispensables, pour interpréter correctement les éléments d'informations obtenus par l'image. Terrain et télédétection constituent donc deux approches complémentaires. La contribution de la télédétection est particulièrement utile :
- sur des zones éloignées : lorsque le site d'étude est difficile d'accès ou inaccessible à l'utilisateur au moment de l'analyse, la télédétection est alors un excellent moyen d'en appréhender les caractéristiques dans l'attente des validations in situ ;
 - sur des zones pauvres en données : la télédétection permet d'acquérir des informations sur l'environnement (p.ex. la description de l'occupation du sol, de la végétation), sur le climat ou sur les populations. Cet apport est d'autant plus précieux que ces informations sont parfois inexistantes. Beaucoup de pays n'ont pas de données géographiques de référence ou de cartographie précise des milieux, ni de réseaux denses de stations météorologiques. Dans ces contextes, la télédétection permet de pallier ce manque d'information au sol ;
 - pour l'observation de phénomènes avec une dynamique temporelle : l'acquisition de séries temporelles d'images satellite permet de suivre les dynamiques des processus environnementaux (p.ex. l'évolution d'un indice de végétation, de type NDVI - Normalized Difference Vegetation Index, permet de suivre la vigueur de la végétation). Les satellites à basse résolution spatiale proposent généralement une bonne répétitivité et permettent l'acquisition de séries temporelles sans ruptures. Ainsi les instruments MODIS, qui présentent une fréquence de revisite journalière associée à une résolution spatiale hectométrique, ont été très largement utilisés pour suivre les dynamiques environnementales ;
 - pour des comparaisons inter-sites : les analyses de télédétection peuvent être reproductibles en utilisant des images issues des mêmes capteurs et en leur appliquant les corrections géométriques et radiométriques. A la différence d'informations produites par des entités administratives distinctes (et en particulier de pays différents), les données de télédétection ne connaissent pas de frontière. Ainsi, pour des travaux de modélisation, comme la modélisation écologique des vecteurs d'une maladie, la communauté scientifique peut disposer de données d'entrées homogènes dans des zones transfrontalières, ou dans des pays distincts, afin de décrire les habitats potentiels de ces vecteurs.

Analyses et extractions d'informations spatialisées

- 13 Les principales informations spatialisées sont extraites à partir des analyses d'images menées manuellement, ou par des procédures semi-automatiques reposant sur des algorithmes paramétrés par le télédécteur. La photo-interprétation permet notamment le dénombrement d'objets, le calcul de distances, le calcul des coordonnées géographiques, la digitalisation de contours (comme les bâtiments ou des éléments du paysage). Le développement des algorithmes constitue des axes de recherche importants, et mobilise des communautés actives (p.ex. le Centre d'Expertises Scientifiques du pôle

THEIA - <https://www.theia-land.fr>). L'information spatiale est représentée sous forme de couches physiques ou thématiques :

- cartographie de l'occupation du sol : elle peut s'appuyer sur la radiométrie de l'image (classification par pixel) et l'utilisation d'indices supplémentaires (comme l'analyse des textures) ou sur la forme des objets après une étape de segmentation (classification orientée-objet). On parle de classification supervisée si le télédéacteur utilise des données d'apprentissage pour construire les règles de classification (machine learning) ;
- suivi des changements de surface à l'aide de séries temporelles : p.ex. le suivi des cultures, la déforestation, l'urbanisation, la fragmentation des paysages ;
- estimations des facteurs climatiques : p.ex les températures de surface (LST - Land Surface Temperature, SST - Sea Surface Temperature) ou la pluviométrie à partir d'images des satellites météorologiques (p.ex. les données TRMM).

- 14 Ces méthodes d'analyse peuvent répondre à différentes applications dans le domaine de la santé mais elles seront réalisables par le choix des images appropriées (tableau 2).

Tableau 2 : Exemples de capteurs et possibilités d'applications dans le domaine de la santé

Résolutions		Exemple de capteurs (résolution en m)	Méthodes	Analyses	Applications
Spa- tiale	Tempo- relle				
+++	-	Pléiades HiRI (0,7) SPOT 6/7 NAOMI (1,5)	Photo- interprétation	Calcul de distances Identification d'objets Calcul des coordonnées géographiques	Identification de lieux précis (patient, lieu d'infection, lieu d'échantillonnage), Temps de parcours vers les soins
++	--	SPOT 5 HRG (2,5)	Occupation du sol, Indices de végétation	Classifications, Indices paysagers, Indices de végétation Surfaces en eau	Caractéristiques environnementales des vecteurs et/ou de leurs pathogènes modélisation des habitats
++	+	Sentinel-2 MSI (10) Landsat 7 ETM+ (15) Landsat 8 OLI (15)			
-	++	Terra MODIS (250-500)	Indices de végétation	NDVI	Suivis temporels d'indicateurs environnementaux des dynamiques épidémiologiques ou des vecteurs
--	+++	NOAA AVHRR (1090)	Indicateurs météorologiques	LST, SST	

+++ = Très haute --- Très basse

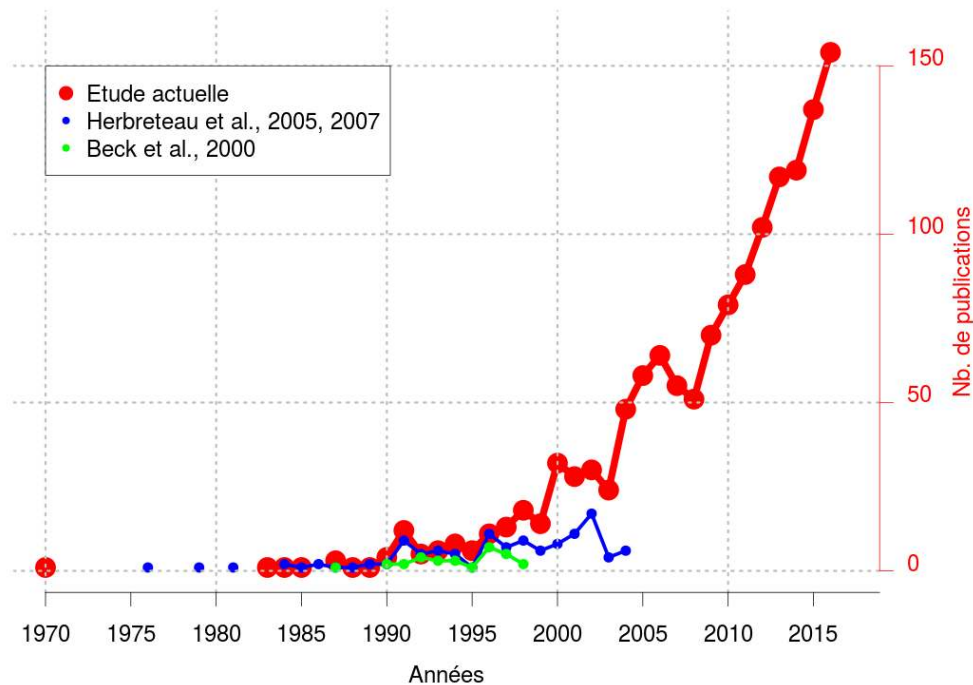
La télédétection et les questions de santé : contributions historiques et actuelles

Historique des usages de la télédétection dans le domaine de la santé

Tendance générale

- 15 L'utilisation d'informations issues des satellites d'observation a augmenté de façon quasi-exponentielle depuis le début des années 1970, comme en atteste le nombre de publications scientifiques référencées dans les principales bases de données bibliographiques. Ce constat provient d'une interrogation des bases de données de « l'Institute for Scientific Information (ISI) Web of Science® »¹ au moyen d'une requête effectuée sur l'abstract, les mots clés, et le titre avec l'expression régulière : « (remote sensing OR satellite data) AND (human health OR epidemiolog*) » (Figure 1).

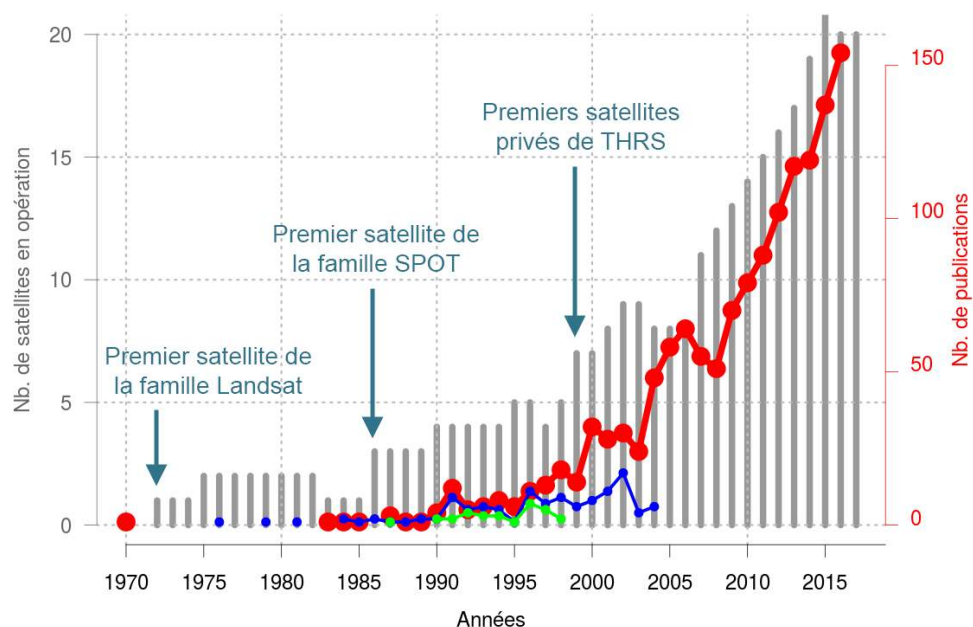
Figure 1 : En rouge, le nombre d'articles trouvés dans la base ISI Web of Science®, dont le résumé, le titre ou les mots clés contient l'expression régulière « (remote sensing OR satellite data) AND (human health OR epidemiolog*) ».



En bleu, le nombre d'articles identifiés dans la revue de littérature de (Herbreteau, 2005, Herbreteau, 2007). En vert, le nombre d'articles identifiés dans la revue de littérature de (Beck, 2000).

- 16 La dynamique globale de cette courbe (Figure 1) s'explique aisément par, notamment : un nombre croissant de satellites d'observation de la Terre en activité (Figure 2) ; une amélioration continue des performances des capteurs ; le nombre croissant d'outils logiciels de plus en plus performants, gratuits voire libres. Dans les années 2000, certains opérateurs ont commencé à fournir des images gratuites. Ce fut le cas de l'Institut National de Recherche Spatiale (INPE : Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) au Brésil dès 2004 puis de l'USGS (United States Geological Survey) qui a libéré les images du programme Landsat en 2008. L'accès gratuit à certaines images a sans aucun doute contribué à en augmenter considérablement les usages.

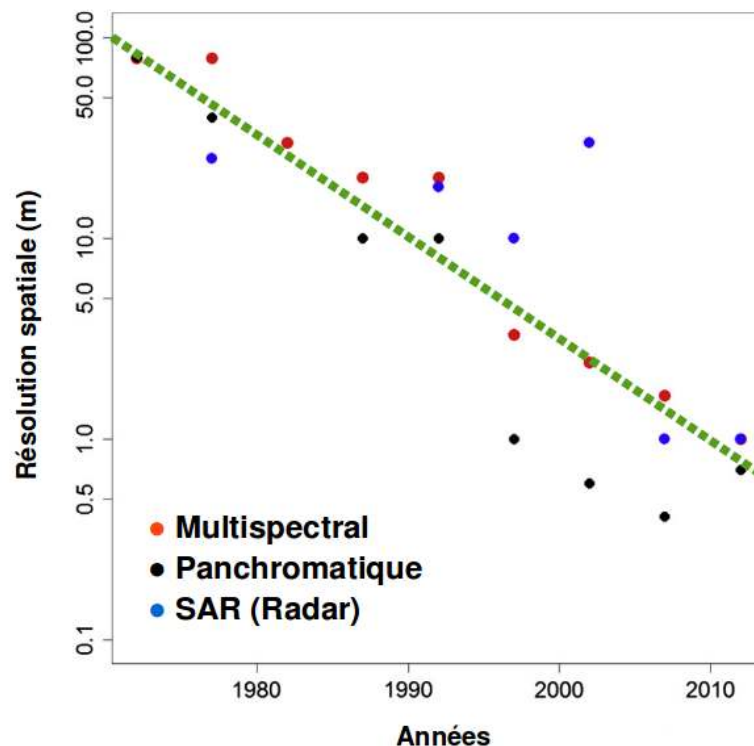
Figure 2 : Nombre de satellites d'observation de la Terre de moyenne et haute résolutions spatiales en opération



d'après Charrier, 2016.

- 17 Durant cette même période de 40 ans, de 1970 à 2010, la résolution spatiale des images acquises par les satellites d'observation de la Terre a été multipliée par 100 (Figure 3). Il est cependant à noter que la résolution spatiale n'est pas la seule caractéristique à avoir bénéficié d'améliorations significatives. La répétitivité temporelle, les résolutions spectrales et les largeurs des fauchées ont également augmenté (Tableau 1).

Figure 3 : Résolutions spatiales les plus élevées (en mètres) obtenues par des capteurs embarqués sur des satellites civils d'observation de la Terre à orbites polaires, par période de 5 ans



d'après Belward, 2015.

Grandes phases depuis les années 1970

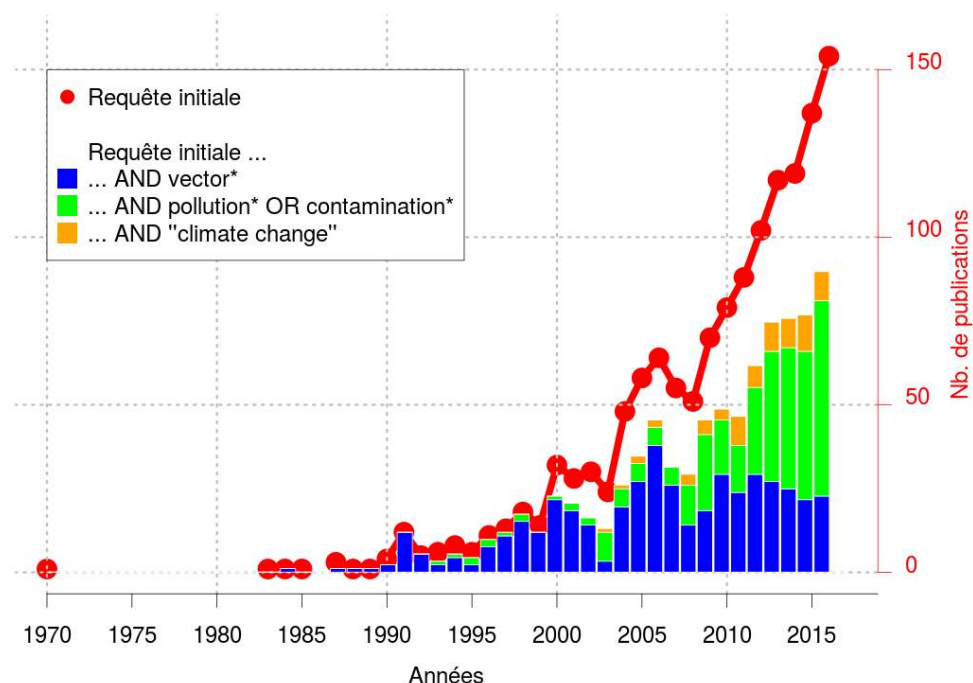
- 18 A notre connaissance, la première mention explicite de l'utilisation de la télédétection en santé apparaît en 1970 (Cline, 1970). L'auteur affirme que la télédétection peut apporter une plus-value significative aux études sur la santé, comme elle le fait dans d'autres domaines : « Perhaps epidemiologists will be able to exploit [the unique observation and data collection capabilities of the earth orbiting satellite] and other new sources of information about the surface of the earth to further our understanding of the distribution of human disease upon it. ». Il souligne en particulier que le concept de « landscape epidemiology », utilisé par Pavlovsky, semble « particularly well adapted to the suggestion that many of the factors which relate to the distribution of the zoonoses can be measured remotely ».
- 19 En 1971, l'agence spatiale américaine (National Aeronautics and Space Administration, NASA) crée en son sein le Bureau des Applications en Santé (Health Application Office, HAO), qui produira une centaine de rapports, parfois préliminaires, sur l'utilisation en santé des données de télédétection (Barnes, 1991). Ainsi, Arp et al. (Arp, 1976) décrivent une méthode de cartographie de la répartition d'un insecte parasite du bétail (la lucilie bouchère, *Cochliomyia hominivorax*) à partir d'un modèle de développement de l'espèce dont les paramètres environnementaux (température journalière moyenne de l'air et humidité des terres cultivées) sont estimés par télédétection. Les résultats ont contribué à l'éradication du parasite aux Etats-Unis (Arp, 1976, Barnes, 1991). En ce qui concerne la santé humaine, Giddings et Naumann (Giddings, 1976) décrivent en détail comment

différentes sources de données de télédétection (Landsat, satellites météorologiques, photographies prises à l'occasion de vols spatiaux habités) peuvent contribuer à cartographier les zones potentielles d'infestation par la mouche Tsé-Tsé, vecteur de la trypanosomiase africaine ou maladie du sommeil, en Tanzanie. Le bureau ferme cependant en 1976, la NASA estimant qu'elle n'a ni la vocation première ni le budget pour réaliser de telles études. L'agence spatiale américaine n'a pas réussi à convaincre et à impliquer les autres agences nationales ayant vocation à travailler sur la santé. Ces dernières privilégient d'autres priorités, et ne sont pas familières des outils de télédétection, et des outils informatiques et conceptuels qu'elle requiert. Certains succès n'ont pu être reproduits ou étendus en raison de la réticence de certains pays à voir des satellites acquérir des informations sur leur territoire. Il convient de souligner que les ressources matérielles et logicielles étaient relativement sommaires par rapport aux moyens d'aujourd'hui. La fin du HAO marque un coup d'arrêt, temporaire, aux applications de la télédétection à la santé. Toutefois, pratiquement toutes les applications potentielles avaient été mentionnées et certaines testées pendant la durée de son existence.

- 20 Les chercheurs ressentent le besoin de faire le point sur l'utilisation de la télédétection en santé à la fin des années 1990 et au début des années 2000, avec la publication des premières revues de littérature (Barnes, 1991, Beck, 2000). Beck (Beck, 2000) liste ainsi 28 études dans lesquelles la télédétection a été utilisée afin de fournir des informations sur trois grands domaines : la couverture végétale, la structure du paysage et les plans d'eau. Il produit également une longue liste d'applications potentielles, affirmant que l'amélioration de la disponibilité et des résolutions spatiale, spectrale et temporelle des produits de télédétection, associée à l'augmentation des capacités de traitement des SIG, devraient amener la télédétection, dans les cinq années suivantes à participer à la surveillance et au contrôle opérationnel des maladies. Les années 2000 ne donnent pas totalement raison à un tel optimisme.
- 21 Herbreteau et al. (2005, 2006) présentent ainsi un bilan en demi teinte des espoirs formulés par (Beck, 2000). Ils constatent notamment que :
 - la haute résolution spatiale (<10 m) n'est utilisée que dans 10 % des études ;
 - l'imagerie multi-spectrale est rarement utilisée, et l'imagerie hyper-spectrale ne l'est jamais ;
 - l'imagerie RADAR n'est que rarement exploitée ;
 - l'indice de végétation NDVI est utilisé dans la moitié des cas, alors que des indices davantage adaptés à la problématique pourraient être construits ;
 - l'extrapolation et la régionalisation des résultats, facilitée par la télédétection, sont parfois réalisées sans que des données de terrain ne viennent valider les résultats ;
 - aucune étude n'adopte une démarche véritablement multiscalaire.
- 22 Herbreteau et al. (2005, 2006) insistent sur la nécessité d'une meilleure compréhension et une meilleure maîtrise conjointe des méthodes de télédétection et d'épidémiologie. Les auteurs concluent que cette compréhension entre disciplines ne peut s'envisager qu'au moyen d'une collaboration étroite entre les deux communautés. Ces frustrations expliquent peut-être en partie la stagnation du nombre d'études utilisant la télédétection dans l'étude des maladies vectorielles (Figure 4). Parallèlement à ces observations, on assiste à une diversification des applications de la télédétection pour la santé à partir du milieu des années 2000. La figure 4 différencie les articles selon qu'ils citent les expressions régulières : vector*, pollution* OR contamination, climate change de manière

exclusive. Si le nombre de publications concernant les vecteurs semble stagner à partir de 2000, celui concernant l'exposition à des polluants augmente de façon significative, ainsi que l'association avec le thème changement climatique. Dans ces derniers, la santé n'est pas forcément l'application première, mais elle est citée comme l'une des conséquences du changement climatique. Bien qu'une étude plus poussée serait nécessaire à une différenciation plus complète des articles, la figure 4 montre tout de même une certaine diversification des applications de la télédétection à la santé.

Figure 4 : Nombre d'articles trouvés en affinant la requête initiale (« remote sensing OR satellite data AND human health OR epidemiolog* ») avec les expressions régulières : « AND vector* », AND « pollution* OR contamination* », AND « climate change » de manière exclusive.



Contributions actuelles de la télédétection dans les problématiques de la santé

Cartographies d'urgence et opérationnelles

- 23 Les catastrophes naturelles ont de lourdes conséquences sur le plan sanitaire. L'acquisition d'images satellite est devenue essentielle dans la gestion de certaines catastrophes et de leurs risques sanitaires associés : situations précaires, émergence de maladies, difficultés d'accès aux soins, etc. Elle permet d'établir une cartographie du terrain, d'identifier les populations atteintes ou exposées, et les accès pour les secours. Nous pouvons citer deux exemples majeurs de structuration autour de l'apport des images de télédétection à la gestion de crise :

- la Charte internationale Espace et catastrophes majeures (<https://www.disasterscharter.org>) qui est un accord international entre les agences spatiales pour pointer les satellites vers les sites touchés et fournir gratuitement et le plus rapidement possible une cartographie ciblée ;

- OpenStreetMap (OSM) (openstreetmap.org) qui est une base de données géographique participative, et dont la principale source de données est la photo-interprétation d'images satellite mises à disposition gratuitement. Certaines organisations, comme Humanitarian OpenStreetMap Team (HOT: hotosm.org) et l'ONG CartONG (cartong.org), se sont constituées pour coordonner des réponses face aux situations de crise en répartissant les tâches de digitalisation. Ces tâches sont effectuées de manière collaborative par des internautes du monde entier. Depuis quelques années, la cartographie via les outils proposés par HOTOSM (dont le Tasking Manager) est utilisée pour guider les actions de contrôle des maladies. Des cartographies régionalisées sont créées dans le cadre de programmes d'éradication du paludisme pour faciliter les actions de contrôle. Les figures 5 et 6 montrent l'apport de HOT à l'ONG Peace Corps Mozambique dans la cartographie de villages et de maisons avec comme finalité l'optimisation de la distribution de moustiquaires.

Figure 5 : Aperçu de la tâche 4265 du Tasking Manager de HOT pour la cartographie des villages et des maisons dans une région du Mozambique, en vue d'aider à la distribution de moustiquaires contre le paludisme

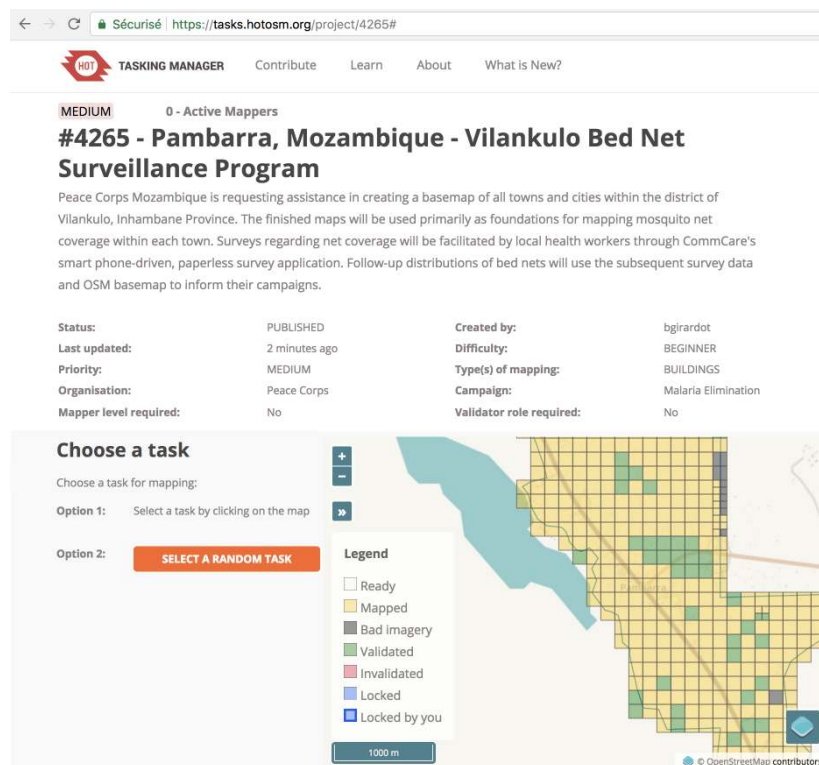
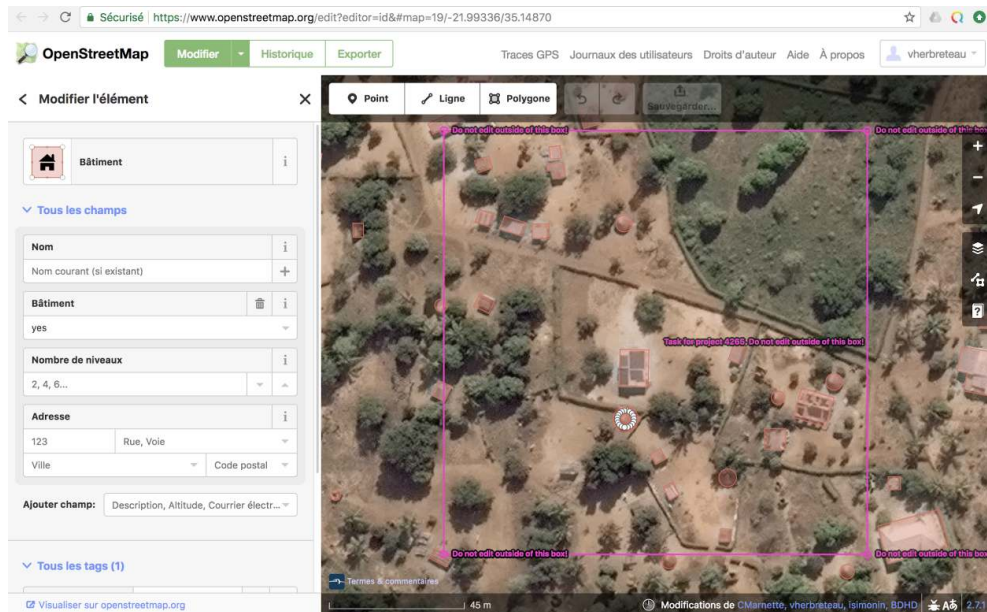


Figure 6 : Aperçu de la cartographie des maisons par photo-interprétation dans un carré de la tâche 4265 de HOT.



Estimation des aléas et des vulnérabilités liés aux maladies vectorielles

- 24 Dans le domaine de la santé, les images satellite ont été le plus souvent utilisées pour décrire l'aléa de la transmission des maladies vectorielles, c'est-à-dire la présence de leurs vecteurs et/ou de leurs réservoirs et/ou de leurs agents pathogènes (Herbreteau, 2005). Les images apportent des informations qui ne concernent pas directement les vecteurs des agents pathogènes (p.ex. les moustiques, les tiques, les rongeurs, etc.), mais des indicateurs environnementaux des facteurs limitant leurs distributions (seuils d'altitude, climatiques, habitats potentiels) et des conditions favorables à leur présence (type de végétation, humidité, absence d'espèces prédatrices, etc.) ou favorables à leur développement et prolifération (comme des cumuls de pluies ou de températures).
- 25 Ces différentes approches sont aussi liées aux échelles d'étude. Les travaux sur la distribution des espèces vectrices se font généralement à des échelles mondiales ou régionales en utilisant des données à basse résolution spatiale, comme celles issues de Worldclim.org (Fick, 2017) ou des capteurs MODIS. Ainsi, plusieurs études ont récemment produit des prédictions des distributions des moustiques du genre *Aedes*, vecteurs de la Dengue, du Zika, Chikungunya et de la Fièvre jaune (Kraemer, 2015, Ducheyne, 2018).
- 26 A des échelles plus locales, les données de télédétection permettent de cartographier ou d'estimer des métriques comme la présence (et plus difficilement l'abondance) des agents pathogènes, de leurs vecteurs ou de leurs réservoirs en lien avec les caractéristiques environnementales. Ces caractéristiques sont liées aux conditions de maintien ou d'émergence de pathologies :
 - cartographies de la qualité d'habitat des espèces (vecteurs et/ou réservoirs) et de la dynamique spatio-temporelle de ces habitats (saisonnière notamment) ;
 - mise en relation entre caractéristiques environnementales et informations épidémiologiques (taux d'incidence), moyennant des connaissances ou, a minima, des hypothèses sur les lieux présumés de contamination ;

- mise en relation de dynamiques environnementales et sanitaires.

27 La télédétection permet de quantifier certains aspects de la vulnérabilité des populations aux aléas d'exposition :

- cartographie des voies de circulation pour l'estimation des temps de parcours pour l'accès aux soins. Ainsi, une étude récente à l'échelle mondiale a montré que 50,9 % des personnes vivant dans des milieux à faibles revenus (surtout en Afrique subsaharienne) habitent à moins d'une heure d'une ville, comparativement à 90,7 % des personnes vivant dans des milieux à revenus élevés (Weiss, 2018). Cette étude se base sur la cartographie des routes issue principalement d'OpenStreetMap. L'éloignement des villes se traduit par des difficultés d'accès à des soins de qualité mais aussi à une moins bonne connaissance de la survenue des maladies pour ces populations isolées (moins de recours aux soins et diagnostics rares). Lorsque les déplacements sont difficiles (réseau routier limité et en mauvais état), les conditions météorologiques conditionnent aussi les temps de parcours. Makanga et al. ont ainsi montré dans le sud du Mozambique que l'utilisation de données météorologiques issues des satellites permettait d'évaluer les difficultés de déplacement lors des saisons humides : si 46% des femmes enceintes vivent à moins d'une heure du centre de soins primaires le plus proche, elles ne sont plus que 9% en saison des pluies (Makanga, 2017).
- cartographie des inégalités socio-spatiales, des différences comportementales, au travers notamment de la caractérisation du bâti (composition et configuration spatiale). Peu de travaux ont été réalisés en ce sens et les usages restent à explorer. Les images à très haute résolution spatiale permettent aujourd'hui de cartographier plus précisément les petites habitations (avec des analyses orientées-objets ou des analyses de texture), ce qui est donc utilisé pour la cartographie des zones précaires comme les bidonvilles (Kuffer, 2016). De telles cartographies permettent ainsi de localiser les populations les plus vulnérables en matière de santé, en raison d'un accès aux soins réduit et de l'exposition à certaines maladies de la pauvreté (notamment liées aux problèmes d'assainissement). D'autres pistes de recherche sont envisagées comme Xie et al. qui ont montré que l'analyse nocturne de l'absence d'éclairage dans des zones habitées permettait de révéler la pauvreté (Xie, 2016).

Prédiction des périodes favorables à la transmission de maladies liées à l'environnement

- 28 Les indicateurs météorologiques (température de surface, pluviométrie, humidité ...) constituent des informations pertinentes pour le suivi dans l'espace et le temps de l'influence des facteurs météorologiques sur la distribution et la dynamique des espèces vectrices (Tran, 2010). Par exemple, les moustiques, vecteurs de nombreuses maladies humaines (p.ex. paludisme, dengue, Zika), animales ou zoonotiques (p.ex. fièvre de la Vallée du Rift, fièvre du Nil Occidental), sont particulièrement sensibles aux variations des températures et des précipitations (Gouagna, 2015). Une augmentation des températures peut engendrer un développement plus rapide des différents stades, et par voie de conséquence une élévation du taux de piqûres. Une augmentation des précipitations peut aussi favoriser la création de gîtes de ponte où les femelles moustiques vont déposer leurs œufs.
- 29 De nombreuses études ont ainsi montré des corrélations significatives entre de tels indicateurs des facteurs climatiques et le risque de transmission de maladies vectorielles, comme la fièvre de la Vallée du Rift (FVR), une zoonose causée par un phlébovirus et transmise par différentes espèces de moustique à l'homme, aux ruminants et aux camélidés. Au Kenya, les épidémies de FVR sont associées à des épisodes de fortes pluies

persistantes accompagnées d'inondations durables, qui causent une prolifération des moustiques vecteurs. Ces altérations climatiques sont quantifiables via des indicateurs dérivés d'images MODIS ou NOAA-AHVR (Linthicum, 1999, Anyamba, 2010). Ce type de données est caractérisé par une faible résolution spatiale, mais en revanche une largeur de la scène importante, permettant de cartographier des zones très vastes avec une forte répétitivité temporelle (Table 1). Le modèle développé par Anyamba et al. (2010) est basé sur la surveillance des anomalies des différences de températures dans les Océans Indien et Pacifique, caractéristiques du phénomène El Niño qui se traduit par de fortes précipitations en Afrique de l'Est, et des anomalies de l'indice de végétation à différence normalisée (NDVI), qui permettent de localiser les zones propices à la prolifération des vecteurs. Ce modèle a permis le développement d'un système d'alerte pour la prévision des risques d'épidémies de FVR en Afrique de l'Est, avec une capacité d'anticipation d'environ 3 mois.

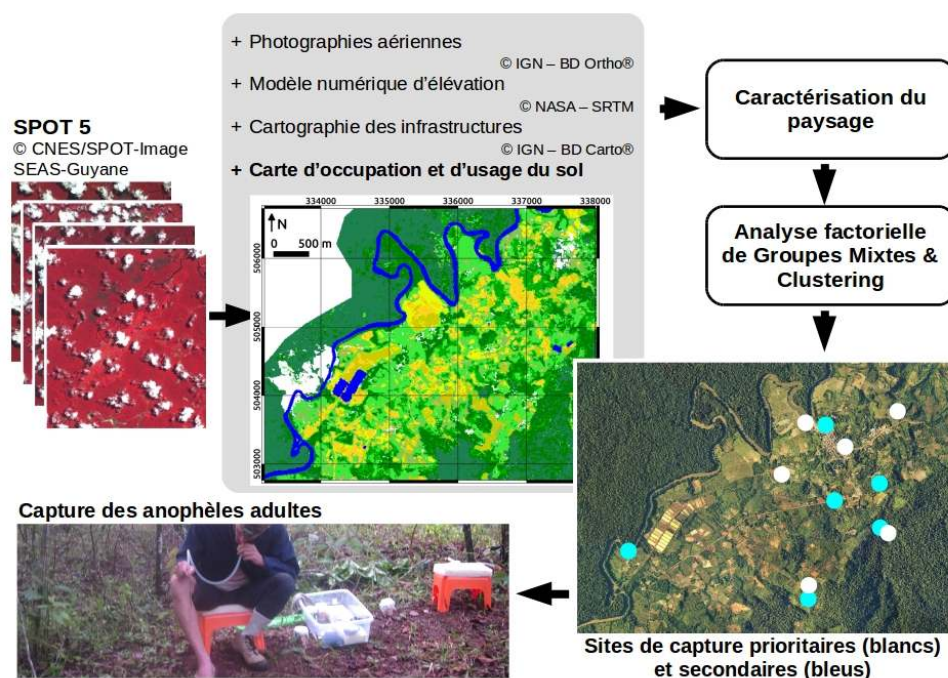
- 30 D'autres études ont démontré le potentiel de l'utilisation de données de télédétection pour d'autres maladies vectorielles (Tran, 2014) ou pour des maladies non vectorielles comme le choléra (Constantin de Magny, 2008).

Deux exemples d'apport de la télédétection dans les problématiques de la santé

Exemple 1 pour la planification d'une mission de terrain : Inventaire des espèces d'anophèles en Guyane française

- 31 Dans le cadre de la planification des études terrain dans le domaine de la santé humaine, les images satellite permettent de choisir selon des critères objectifs une zone d'étude, voire des sites d'échantillonnage précis (Roux, 2013). Ainsi, dans Roux et al. (2013), l'objectif était de réaliser l'inventaire des espèces d'anophèles (dont certaines sont vectrices du paludisme) dans une localité de Guyane française. Afin de réaliser un inventaire exhaustif, tout au moins d'assurer la capture d'un maximum d'espèces différentes aux habitats écologiques variés, les sites de capture devaient être situés dans des contextes écologiques représentatifs des écosystèmes de la zone d'étude et significativement différents les uns des autres. Une caractérisation environnementale de la zone d'étude a ainsi été réalisée en amont du terrain selon l'hydrographie, l'anthropisation, la topographie et l'occupation du sol.
- 32 Cette caractérisation thématique s'est appuyée sur diverses sources de données de télédétection : cartes et photographies aériennes de l'Institut National de l'Information Géographique et Forestière (IGN), modèle numérique d'élévation de la NASA (SRTM), images satellitaires SPOT-5 (Figure 7).

Figure 7 : Identification raisonnée de sites de capture d'anophèles en Guyane française à partir de différentes données de télédétection.



- 33 Une analyse des données multi-points de vue, ainsi qu'une catégorisation des différents contextes écologiques observés ont ensuite permis d'identifier et de caractériser six contextes à la fois significativement différents les uns des autres et typiques de la région : le village, les rives de la rivière Comté, les zones maraîchères de la plaine, les zones de jachères anciennes, les vergers sur les pentes et les hauteurs des collines et la forêt dense.
- 34 Les résultats des captures de moustiques réalisées sur le terrain ont confirmé la présence d'une grande diversité d'espèces d'anophèles (dix espèces capturées au total), dont le vecteur principal du paludisme en Amazonie (*Anopheles darlingi*) et cinq espèces vectrices secondaires. Ils démontrent également que, même à une échelle très locale, les espèces d'anophèles peuvent être structurées géographiquement et que l'occupation du sol, caractérisée par télédétection, contribue significativement à expliquer leur distribution.

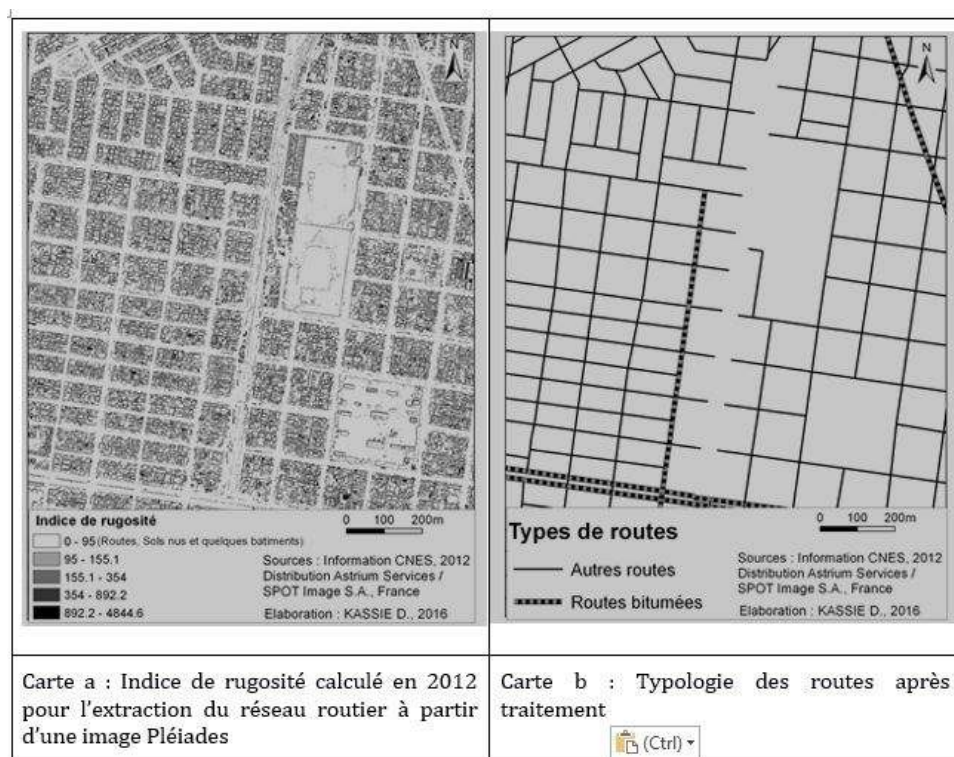
Exemple 2 pour les itinéraires de santé : création du réseau routier de la ville de Bobo-Dioulasso par calcul d'indice de rugosité de surface

- 35 L'état des voies de communication est un élément descriptif important de l'accessibilité des populations aux structures de soins. En effet, l'état des voies va conditionner l'usage de différents moyens de locomotion et déterminer les temps de déplacement. D'autre part, l'analyse des réseaux de transport sera aussi révélatrice du niveau de vie des populations et pourrait aider à décrire les quartiers.
- 36 La grande hétérogénéité des espaces urbains peut rendre complexe la classification des modes d'occupation du sol au sein de la ville. Dans ce type de contexte, la démarche méthodologique peut combiner plusieurs approches. Dans une ville du Sud comme Bobo-Dioulasso (Burkina Faso), où les données spatiales à des échelles fines sont rarement

disponibles, et où le suivi et l'entretien de la voirie ne sont pas toujours assurés, l'utilisation de la télédétection représente une bonne approche de cartographie. Dans un premier temps, l'environnement urbain a été appréhendé à partir d'images THRS : points d'eau, bâti, végétation, sols nus (sable, latérite), et voies bitumées. Le réseau routier de Bobo-Dioulasso est composé essentiellement de ces deux dernières catégories. Une image satellite Pléiades de 2012 (acquise via le programme ISIS du CNES, avec une résolution spatiale de 2,8 m en mode multispectral, et de 0,7 m ré-échantillonnée à 0,5 m en mode panchromatique) a été utilisée pour extraire les composantes du milieu urbain. Elle a permis de calculer un indice de rugosité de surface qui exprime la variation de la hauteur de la surface du sol à l'intérieur d'un site donné. Une structure grossière ou accidentée du sol se traduit par des aspérités importantes. Le plan parcellaire de la ville de Bobo-Dioulasso de 2012 a été obtenu auprès de l'Office National de l'Eau et de l'Assainissement de la ville, et a permis de corriger les résultats issus de l'extraction automatique du réseau routier.

- 37 Les valeurs de l'indice de rugosité dérivé de l'image Pléiades ont été regroupées par classes. Le réseau routier se distingue assez nettement pour des valeurs d'indices comprises entre 0 et 95. Ces valeurs s'expliquent par le fait que les routes présentent peu d'aspérités par rapport aux autres composantes de la ville à extraire. Les toits de certains bâtiments, ou les sols nus à l'intérieur des parcelles présentent cependant des valeurs d'indices assez similaires. Pour lever ce type de confusion, les résultats du traitement ont été croisés spatialement avec le parcellaire pour supprimer les entités situées à l'intérieur des lots de parcelles (sols nus et autres surfaces à l'intérieur des parcelles) et ne conserver que les routes. Dans les zones non loties où le parcellaire n'est pas encore cartographié, les routes ont été corrigées manuellement (Figure 8). Les valeurs d'indices permettent de distinguer les routes bitumées.

- 38 Figure 8 : Extraction du réseau routier dans la ville de Bobo-Dioulasso (Burkina Faso).



- 39 Combinée à une approche SIG, la télédétection permet dans cet exemple d'extraire de nombreuses informations spatialisées pour mieux comprendre la structuration de l'espace urbain en vue d'élaborer des politiques sanitaires (Programme de recherche Santinelles - Santé, Inégalités, Villes) (Kassie, 2015).

Conclusions sur les apports de la télédétection en santé

- 40 Depuis le lancement des premiers satellites d'observation de la Terre et les espoirs qu'ils ont suscités (Cline, 1970), le potentiel et les limites de l'utilisation de la télédétection pour des problématiques de santé ont été peu à peu explorés (Herbreteau, 2007). Nous avons identifié les grandes phases suivantes : (i) la fin des années 1960 où les principaux concepts et principes sont énoncés (ii) la démonstration de la faisabilité au début des années 1970 (iii) les premiers bilans et les grands espoirs entre la fin des années 1990 et le début des années 2000 (iv) les premières déceptions au milieu des années 2000 (v) la diversification des applications à partir de la fin des années 2000 (vi) la période actuelle où tous les éléments semblent réunis pour l'intégration effective et durable de la télédétection dans les pratiques des acteurs de la santé.
- 41 Le type d'application a également évolué avec l'amélioration des performances des capteurs, en termes de résolution spatiale notamment, depuis l'usage des données à faible résolution spatiale pour le suivi d'indicateurs météorologiques, jusqu'à l'utilisation d'images à très haute résolution spatiale pour une caractérisation très fine de l'habitat. Nous assistons aujourd'hui à un intérêt renouvelé pour les études à des échelles locales, qui coïncident avec la disponibilité récente d'images THRS (type Pléiades).
- 42 Plusieurs éléments tendent à montrer que l'étude des maladies vectorielles gagnerait à renouveler son intérêt pour la télédétection. Dans les contextes d'élimination d'une maladie (du paludisme notamment), ou de l'étude de maladies sévissant prioritairement en milieu urbain (notamment les arboviroses transmises par les moustiques du genre *Aedes*, comme la dengue, le chikungunya, ou le Zika). Cet intérêt se manifeste également dans la caractérisation des habitats par télédétection et la modélisation des distributions d'espèces. He et al. (2015) abondent dans ce sens dans leur article intitulé « Will remote sensing shape the next generation of species distribution models ? » (He, 2015).

Limites

- 43 L'utilisation des techniques de télédétection en géographie de la santé est intrinsèquement une approche indirecte : elles permettent de détecter et de cartographier des conditions environnementales en lien avec la transmission des maladies, mais pas directement les agents pathogènes ou leurs éventuels réservoirs ou vecteurs. Il s'agit d'identifier les liens successifs entre image, environnement et santé (Curran, 2000), ce qui se traduit souvent par l'utilisation d'indicateurs (« proxys ») des observations de santé issus de l'analyse des images. La construction de ces indicateurs nécessite encore des efforts de recherche importants afin qu'ils puissent être spécifiques des maladies, des vecteurs, de certains lieux ou encore de dynamiques (comme des indicateurs du démarrage des épidémies). Beaucoup d'études se sont basées sur des indices génériques (p.ex. NDVI, SST) qui ont montré satisfaction dans des analyses

statistiques, alors que des indices auraient pu être construits plus spécifiquement aux objets d'étude par des télédéTECTEURS. En effet, les modèles épidémiologiques liant conditions environnementales observables par télédéTECTION et variables épidémiologiques ne sont pas génériques, et ne peuvent être appliqués tels quels dans d'autres zones géographiques. Ceci est également vrai pour l'application à d'autres pathologies, même dans le cas de cycles épidémiologiques proches. Ainsi, le modèle développé pour la fièvre de la Vallée du Rift en Afrique de l'Est ne « fonctionne » pas en Afrique de l'Ouest ou à Madagascar, où d'autres mécanismes sont en jeu (Ndione, 2003, Anyamba, 2010).

- 44 Parmi les limites techniques, on peut citer le compromis inévitable en télédéTECTION entre la résolution spatiale et la fauchée, qui rend difficile des travaux de caractérisation fine du paysage sur de grandes surfaces (Provencher, 2007), ainsi que les problèmes liés aux conditions de prise de vue des images (réflexion spéculaire causée par le reflet solaire sur une surface lisse ou brillante, masses nuageuses et leur ombrage) qui peuvent modifier l'apparence des objets au sol. L'exploitation des images de télédéTECTION requiert donc la mise en œuvre de méthodes de traitement d'images qui peuvent être complexes et demander une certaine technicité. Enfin, les contraintes liées aux coûts d'acquisition de certaines images à très haute résolution spatiale et de certains logiciels de traitement d'images limitent aussi malheureusement l'utilisation des outils de la géomatique en santé.
- 45 Enfin, la télédéTECTION reste un outil limité pour appréhender les pratiques humaines et les comportements qui sont pourtant fondamentaux pour expliquer les inégalités de santé. Nous avons évoqué l'apport possible pour caractériser la présence humaine (comme la cartographie et la typologie des réseaux routiers ou des habitats) et des éléments de vulnérabilité (comme les inégalités d'accès aux soins ou des inégalités liées aux conditions de vie). Le constat est tout de même que très peu de travaux ont été réalisés en ce sens.

Recommandations

- 46 La maîtrise des techniques et le temps nécessaire pour traiter les données d'observation de la Terre afin d'en extraire une information utile peuvent créer des réticences chez les potentiels utilisateurs. Ainsi, ces outils ne sont pas toujours utilisés au mieux de leurs possibilités, et si l'analyse spatiale et la cartographie appliquée sont connues depuis longtemps, leur utilisation en santé publique est longtemps restée limitée (Bénié, 2000). Pour lever ces verrous, la formation des utilisateurs paraît indispensable si l'on veut construire une réelle interdisciplinarité. De telles formations sont de plus en plus demandées, au même titre que les formations aux SIG.
- 47 Par ailleurs, il est important de continuer à faciliter l'accès aux produits satellites, notamment THRS, pour la communauté scientifique et les acteurs de la santé publique. Ceci passe par la création d'infrastructures de données spatiales (IDS), c'est-à-dire des portails internet qui facilitent l'identification et l'accès à des données de télédéTECTION (p.ex. le portail du Group on Earth Observation – GEOSS- (<http://www.geoportal.org/>), le projet français EQUIPEX-GEOSUD pour des images THRS (<http://ids.equipex-geosud.fr/>) ou la datathèque sur le climat de l'International Research Institute for Climate and Society of Columbia University (<http://iridl.ldeo.columbia.edu>)) ou des portails spécifiques au domaine de la santé (p.ex. E3 Geoportal (<https://>

e3geoportal.ecdc.europa.eu) ou l'Observatoire Climat et Santé au Brésil (<https://climaesaude.iciet.fiocruz.br/>). Dans une perspective plus large, c'est un accès facilité aux données géographiques qui se développe aujourd'hui avec plusieurs portails offrant de grandes ressources en données spatiales, comme le Global Health Data Exchange (<http://ghdx.healthdata.org>), le Demographic and Health Survey (<https://www.dhsprogram.com/Data/>), The Humanitarian Data Exchange (<https://data.humdata.org>) ou encore Health Sites (<http://healthsites.io>), qui recense mondialement les structures de soins. L'accessibilité aux données spatiales, et de télédétection en particulier, doit aussi être facilitée en s'intégrant aux logiciels d'analyse. Nous pouvons citer comme exemple l'extension « Semi-Automatic Classification Plugin » de QGIS (<https://qgis.org/>) qui permet de télécharger et de traiter directement des images Landsat et Sentinel. Toutefois, beaucoup reste à faire, notamment avec le logiciel R (<https://cran.r-project.org/>) de plus en plus utilisé pour les analyses spatiales, comme un SIG, mais pour lequel peu d'outils sont dédiés à la télédétection. Les approches d'analyse d'images développées sur R relèvent plutôt de la fouille de données, comme c'est le cas avec les classifications par forêts aléatoires (« random forest »).

- 48 Les recherches méthodologiques doivent encore être poursuivies pour diversifier et spécifier les indicateurs de santé construits à partir des images. Par exemple, si les données d'observation de la Terre permettent aujourd'hui de détecter et de cartographier les surfaces d'eau libre et les zones inondées, il n'existe pas de méthode opérationnelle pour caractériser des propriétés de l'eau telles que la salinité, le pH, ou la turbidité, alors que ces propriétés conditionnent la survie de certains agents pathogènes dans l'environnement comme les bactéries leptospires (Andre-Fontaine, 2015) ou les virus aviaires (Tran, 2010). Un recours plus systématique à l'imagerie RADAR, encore aujourd'hui sous-exploitée dans les études sur la santé, permettrait de pallier les limites de la télédétection optique avec des acquisitions insensibles aux conditions atmosphériques, ce qui est particulièrement nécessaire dans les zones tropicales, très nuageuses. La combinaison des approches RADAR et optique doit permettre de diversifier significativement les types d'informations recueillies. Un autre article de ce dossier thématique reprend ce point plus en détail pour préciser l'apport de la télédétection optique et radar pour l'étude de maladies vectorielles (Catry et al., dans ce volume). Enfin, un défi reste d'orienter l'analyse des images vers la compréhension des comportements et des pratiques humaines, et nous pouvons espérer que l'amélioration des résolutions spatiales et temporelles y contribuera.
- 49 Les liens entre la santé, le milieu physique et les comportements humains sont complexes et se situent à différentes échelles spatiales et temporelles. La recherche de solutions mettant l'accent sur les multiples interactions nécessite des collaborations interdisciplinaires et multisectorielles afin de générer des discussions entre les spécialistes de télédétection et de santé (Bénié, 2000). Ces collaborations permettent d'associer des connaissances de terrain, d'écologie des vecteurs, d'épidémiologie des agents pathogènes, ainsi que des connaissances de télédétection et de géographie. La mise en réseau de la communauté scientifique et des acteurs de la santé autour des questions liées à l'utilisation de la télédétection constitue ainsi une étape essentielle au développement de cette thématique.

Perspectives

- 50 L'un des enjeux aujourd'hui pour « transformer l'essai » est de pouvoir intégrer de manière opérationnelle dans les systèmes de surveillance sanitaire et d'alerte des indicateurs dérivés d'images de télédétection. Leur pertinence a été démontrée comme indicateurs de risque de transmission d'une maladie ou de survenue d'épidémies, et pour le paludisme en particulier (Girond, 2017, Merkord, 2017). Cette intégration nécessite de pouvoir automatiser l'acquisition des images, leur traitement et la génération de ces indicateurs, pour une mise à disposition en temps réel auprès des utilisateurs. D'autre part, comme pour tous les domaines d'application de la télédétection, de nombreuses perspectives sont ouvertes par les développements techniques sur les capteurs (LIDAR, imagerie hyperspectrale, incrémentation des résolutions spatiale, temporelle, spectrale ...). De nouvelles plateformes aéroportées de type drone sont disponibles, à bas coût. Par exemple, le couplage entre des données de télédétection et le suivi par télémétrie de la mobilité des animaux semble très prometteur pour mieux comprendre les interfaces homme - animal domestique et sauvage (Cappelle, 2011). Enfin, l'assimilation des données issues de la télédétection dans les modèles épidémiologiques devrait être facilitée par les développements méthodologiques et informatiques en modélisation spatiale. Si les SIG ont été longtemps l'outil de référence pour analyser les données spatialisées, de nouveaux langages et environnements de programmation sont désormais disponibles (p.ex. Ocelet). Ceux-ci permettent de prendre en compte l'augmentation du volume des données (Big Data) et d'intégrer les données environnementales issues de la télédétection dans les modèles dynamiques (Degenne, 2009, Maneerat, 2016).
- 51 Nous tenons à remercier le CNES qui soutient activement les recherches en télédétection appliquée à la santé à travers le financement de différents projets dont les projets TéléPAL (TOSCA CNES 2015-2017), APUREZA (TOSCA CNES 2017-2019) et Sentinel-2 Malaria (TOSCA CNES 2017-2019).

BIBLIOGRAFIA

- Andre-Fontaine, G., Aviat, F., Thorin, C. "Waterborne Leptospirosis: Survival and Preservation of the Virulence of Pathogenic *Leptospira* spp. in Fresh Water." *Curr Microbiol* 71(1), p. 136-142, 2015.
- Anyamba, A., Linthicum, K. J., Small, J., Britch, S. C., Pak, E., de La Rocque, S., Formenty, P., Hightower, A. W., Breiman, R. F., Chretien, J. P., Tucker, C. J., Schnabel, D., Sang, R., Haagsma, K., Latham, M., Lewandowski, H. B., Magdi, S. O., Mohamed, M. A., Nguku, P. M., Reynes, J. M., Swanepoel, R. "Prediction, assessment of the Rift Valley fever activity in East and Southern Africa 2006-2008 and possible vector control strategies." *Am J Trop Med Hyg* 83(2 Suppl), p. 43-51, 2010.
- Arp, G., Forsberg, F., Giddings, L., Phinney, D. System development of the Screwworm Eradication Data System (SEDS) algorithm: 86, 1976.

- Barnes, C. M. "An historical perspective on the applications of remote sensing to public health." *Preventive Veterinary Medicine* 11(3), p. 163-166, 1991.
- Beck, L. R., Lobitz, B. M., Wood, B. L. "Remote sensing and human health: new sensors and new opportunities." *Emerging Infectious Diseases* 6(3), p. 217-226, 2000.
- Belward, A. S., Skoien, J. O. "Who launched what, when and why; trends in global land-cover observation capacity from civilian earth observation satellites." *Isprs Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 103, p. 115-128, 2015.
- Bénié, G. B., Muller-Poitevien, C., Hieu, H. N. La géomatique de la santé: tendances actuelles. In : Festival International de Géographie. France: Saint-Dié. 2000.
- Campbell, J. B., Wynne, R. H. Introduction to remote sensing, Guilford Press, 662 p., 2000.
- Cappelle, J., Gaidet, N., Iverson, S. A., Takekawa, J. Y., Newman, S. H., Fofana, B., Gilbert, M. "Characterizing the interface between wild ducks and poultry to evaluate the potential of transmission of avian pathogens." *International Journal of Health Geographics* 10, 2011.
- Charrier, B., ed., Torre, C., ed., Bégué, A., Leroux, L., Lo Seen, D., Tonneau, J.-P., Morant, P. Observation spatiale pour l'agriculture en Afrique: potentiels et défis. Paris, France, AFD, 182 p. 2016.
- Cline, B. L. "New eyes for epidemiologists: aerial photography and other remote sensing techniques." *Am J Epidemiol* 92(2), p. 85-89, 1970.
- Constantin de Magny, G., Murtugudde, R., Sapiano, M. R., Nizam, A., Brown, C. W., Busalacchi, A. J., Yunus, M., Nair, G. B., Gil, A. I., Lanata, C. F., Calkins, J., Manna, B., Rajendran, K., Bhattacharya, M. K., Huq, A., Sack, R. B., Colwell, R. R. "Environmental signatures associated with cholera epidemics." *Proc Natl Acad Sci U S A* 105(46), p. 17676-17681, 2008.
- Curran, P. J., Atkinson, P. M., Foody, G. M., Milton, E. J. "Linking remote sensing, land cover and disease." *Adv Parasitol* 47, p. 37-80, 2000.
- Degenne, P., Lo Seen, D., Parigot, D., Forax, R., Tran, A., Lahcen, A. A., Cure, O., Jeansoulin, R. "Design of a Domain Specific Language for modelling processes in landscapes." *Ecological Modelling* 220(24), p. 3527-3535, 2009.
- Ducheyne, E., Tran Minh, N. N., Haddad, N., Bryssinckx, W., Buliva, E., Simard, F., Malik, M. R., Charlier, J., De Waele, V., Mahmoud, O., Mukhtar, M., Bouattour, A., Hussain, A., Hendrickx, G., Roiz, D. "Current and future distribution of *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) in WHO Eastern Mediterranean Region." *Int J Health Geogr* 17(1): 4, 2018.
- Fick, S. E., Hijmans, R. J. "WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas." *International Journal of Climatology* 37(12), p. 4302-4315, 2017.
- Giddings, L. Remote sensing for control of tsetse flies, NASA, 37 p., 1976.
- Girard, M.-C., Girard, C. M. Traitement des données de télédétection. Dunod, 553 p., 2010.
- Girond, F., Randrianasolo, L., Randriamampionona, L., Rakotomanana, F., Randrianarivelosia, M., Ratsitorahina, M., Brou, T. Y., Herbreteau, V., Mangeas, M., Zigiumugabe, S., Hedje, J., Rogier, C., Piola, P. "Analysing trends and forecasting malaria epidemics in Madagascar using a sentinel surveillance network: a web-based application." *Malaria Journal* 16(1): 72, 2017.
- Gouagna, L. C., Dehecq, J. S., Fontenille, D., Dumont, Y., Boyer, S. "Seasonal variation in size estimates of *Aedes albopictus* population based on standard mark-release-recapture experiments in an urban area on Reunion Island." *Acta Tropica* 143, p. 89-96, 2015.

- He, K. S., Bradley, B. A., Cord, A. F., Rocchini, D., Tuanmu, M. N., Schmidtlein, S., Turner, W., Wegmann, M., Pettorelli, N. "Will remote sensing shape the next generation of species distribution models?" *Remote Sensing in Ecology and Conservation* 1(1), p. 4-18, 2015.
- Herbreteau, V., Salem, G., Souris, M., Hugot, J.-P., Gonzalez, J.-P. "Sizing up human health through Remote Sensing: uses and misuses." *Parassitologia* 47(1), p. 63-79, 2005.
- Herbreteau, V., Salem, G., Souris, M., Hugot, J.-P., Gonzalez, J.-P. "Thirty years of use and improvement of remote sensing, applied to epidemiology: From early promises to lasting frustration." *Health & Place* 13(2): 400-403, 2007.
- Kassie, D. Segmentations urbaines et disparités de santé dans une ville moyenne africaine : du paludisme aux états nutritionnels à Bobo-Dioulasso (Burkina Faso). Thèse de doctorat : Géographie de la santé Thèse, Université Paris Ouest Nanterre La Défense, 2015.
- Kraemer, M. U., Sinka, M. E., Duda, K. A., Mylne, A. Q., Shearer, F. M., Barker, C. M., Moore, C. G., Carvalho, R. G., Coelho, G. E., Van Bortel, W., Hendrickx, G., Schaffner, F., Elyazar, I. R., Teng, H. J., Brady, O. J., Messina, J. P., Pigott, D. M., Scott, T. W., Smith, D. L., Wint, G. R., Golding, N., Hay, S. I. "The global distribution of the arbovirus vectors *Aedes aegypti* and *Ae. albopictus*." *Elife* 4: e08347, 2015.
- Kuffer, M., Pfeffer, K., Sliuzas, R. "Slums from Space—15 Years of Slum Mapping Using Remote Sensing." *Remote Sensing* 8(6): 455, 2016.
- Linthicum, K., Anyamba, A., Tucker, C., Kelley, P., Myers, M., Peters, C. "Climate and satellite indicators to forecast Rift Valley fever epidemics in Kenya." *Science* 285, p. 397 – 400, 1999.
- Makanga, P. T., Schuurman, N., Sacoar, C., Boene, H. E., Vilanculo, F., Vidler, M., Magee, L., von Dadelszen, P., Sevene, E., Mungumbe, K., Firoz, T. "Seasonal variation in geographical access to maternal health services in regions of southern Mozambique." *Int J Health Geogr* 16(1): 1, 2017.
- Maneerat, S., Daude, E. "A spatial agent-based simulation model of the dengue vector *Aedes aegypti* to explore its population dynamics in urban areas." *Ecological Modelling* 333, p. 66-78, 2016.
- Merkord, C. L., Liu, Y., Mihretie, A., Gebrehiwot, T., Awoke, W., Bayabil, E., Henebry, G. M., Kassa, G. T., Lake, M., Wimberly, M. C. "Integrating malaria surveillance with climate data for outbreak detection and forecasting: the EPIDEMIA system." *Malar J* 16(1): 89, 2017.
- Ndione, J.-A., Besancenot, J. P., Lacaux, J. P., Sabatier, P. "Environnement et épidémiologie de la fièvre de la vallée du Rift (FVR) dans le bassin inférieur du fleuve Sénégal." *Environnement, Risques & Santé* 2(3), p. 176-182, 2003.
- Provencher, L., Collet, C., Dubois, J.-M. M. Précis de télédétection. Volume 4, Méthodes de photointerprétation et d'interprétation d'image, Presses de l'Université du Québec, 2007.
- Roux, E., Gaborit, P., Romaña, C. A., Girod, R., Dessay, N., Dusfour, I. "Objective sampling design in a highly heterogeneous landscape—characterizing environmental determinants of malaria vector distribution in French Guiana, in the Amazonian region." *BMC ecology* 13(1): 45, 2013.
- Tran, A., Goutard, F., Chamaillé, L., Baghdadi, N., Lo Seen, D. "Remote sensing and avian influenza: A review of image processing methods for extracting key variables affecting avian influenza virus survival in water from Earth Observation satellites." *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 12(1), p. 1-8, 2010.
- Tran, A., Sudre, B., Paz, S., Rossi, M., Desbrosse, A., Chevalier, V., Semenza, J. C. "Environmental predictors of West Nile fever risk in Europe." *Int J Health Geogr* 13, 26, 2014.

Weiss, D. J., Nelson, A., Gibson, H. S., Temperley, W., Peedell, S., Lieber, A., Hancher, M., Poyart, E., Belchior, S., Fullman, N., Mappin, B., Dalrymple, U., Rozier, J., Lucas, T. C. D., Howes, R. E., Tusting, L. S., Kang, S. Y., Cameron, E., Bisanzio, D., Battle, K. E., Bhatt, S., Gething, P. W. "A global map of travel time to cities to assess inequalities in accessibility in 2015." *Nature*, 2018.

Xie, M., Jean, N., Burke, M., Lobell, D., Ermon, S. Transfer learning from deep features for remote sensing and poverty mapping. *Proceedings of the Thirtieth AAAI Conference on Artificial Intelligence*. Phoenix, Arizona, AAAI Press, p. 3929-3935, 2016.

NOTAS

1. En date du 29 août 2017

RESUMOS

Ao fornecer uma visão ampla dos territórios, as imagens de sensoriamento remoto orbital e fotografias aéreas permitem analisar os fatores ambientais que podem condicionar a saúde das populações. Desde o surgimento do sensoriamento remoto orbital na década de 1970, seu uso no campo da saúde teve um sucesso moderado. Embora seu potencial tenha sido amplamente mencionado na literatura até a década de 2000, sua contribuição operacional era óbvia. Apenas recentemente as aplicações em saúde foram enriquecidas e multiplicadas pelo desenvolvimento de abordagens interdisciplinares. Este artigo tem como objetivo questionar os usos do sensoriamento remoto aplicados às questões de saúde, de acordo com os aspectos técnicos, históricos e temáticos, a fim de identificar os seus gargalos. Primeiramente propõe uma visão didática dos princípios teóricos, dados disponíveis e possíveis usos. Através de um estudo bibliográfico, oferece uma retrospectiva da evolução de sua implementação no campo da saúde, permitindo sintetizar as contribuições atuais: para o mapeamento operacional, para a vigilância e a análise da dinâmica de doenças infecciosas ou, em menor grau, para compreender as vulnerabilidades das populações, tais como as dificuldades de acesso aos serviços de saúde. Por fim, o artigo conclui sobre os limites, as recomendações e as perspectivas para otimizar esses usos, que muitas vezes são limitados por questões técnicas e estruturais e para as quais as metodologias ainda precisam ser desenvolvidas.

En prenant de la hauteur et en offrant une vue élargie des territoires, les images satellite et les photographies aériennes permettent d'appréhender les facteurs environnementaux qui peuvent conditionner la santé des populations. Depuis l'essor de la télédétection satellite à partir des années 1970, son usage dans le domaine de la santé a connu des succès modérés. Si son potentiel a été largement évoqué dans la littérature jusqu'aux années 2000, son apport opérationnel ne s'est pas imposé. Ce n'est que récemment que les applications en santé se sont enrichies et multipliées par le développement d'approches interdisciplinaires. Cet article vise à questionner les usages de la télédétection appliquée aux questions de santé selon les aspects techniques, historiques, et thématiques afin d'identifier les verrous. Il propose tout d'abord une vue didactique des principes théoriques, des données disponibles et des usages possibles. A travers une étude bibliographique, il offre un regard rétrospectif sur l'évolution de sa mise en œuvre

dans le domaine la santé, qui permet de synthétiser les contributions actuelles : pour la cartographie opérationnelle, pour la surveillance et l'analyse des dynamiques des maladies infectieuses ou, dans une moindre de mesure, pour appréhender les vulnérabilités des populations comme les difficultés d'accès aux soins. Enfin, l'article conclut sur les limites, les recommandations et les perspectives pour optimiser ces usages dont les verrous sont souvent techniques et structurels mais pour lesquels des méthodologies doivent encore être développées.

By providing a wide view of territories, satellite images and aerial photographs allow to capture the environmental factors that can affect the health of populations. Since the development of satellite remote sensing in the 1970s, its use in the health field has had moderate success. Although its potential was widely mentioned in the literature until the 2000s, its operational contribution was not obvious. It is only recently that health applications have been enriched and multiplied by the development of interdisciplinary approaches. This article aims to question the uses of remote sensing applied to health issues according to technical, historical, and thematic aspects in order to identify the bottlenecks. First, it offers a didactic view of theoretical principles, available data and possible uses. Through a bibliographic study, it offers a retrospective look at the evolution of its implementation in the field of health, which allows synthesizing current contributions: for operational mapping, for surveillance and analysis of the dynamics of infectious diseases or, to a lesser extent, to apprehend the vulnerabilities of populations such as difficulties in accessing healthcare. Finally, the article concludes on the limits, recommendations and perspectives for optimizing these uses, which are often constrained by technical and structural issues and for which methodologies still need to be developed.

ÍNDICE

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto, Saúde, Satélite, Mundo

Keywords: Remote sensing, health, satellite, World

Mots-clés: Télédétection, santé, satellite, Monde

AUTORES

VINCENT HERBRETEAU

IRD, UMR 228 ESPACE-DEV (IRD/UM/UR/UG/UA), Station SEAS-OI, Saint-Pierre, La Réunion, France, vincent.herbreteau@ird.fr

DAOUDA KASSIÉ

Cirad, UMR ASTRE, Antananarivo, Madagascar, daouda.kassie@cirad.fr

EMMANUEL ROUX

IRD, UMR 228 ESPACE-DEV (IRD/UM/UR/UG/UA), France, emmanuel.roux@ird.fr

RENAUD MARTI

IRD, UMR 228 ESPACE-DEV (IRD/UM/UR/UG/UA), France, renaud.marti@gmail.com

THIBAUT CATRY

IRD, UMR 228 ESPACE-DEV (IRD/UM/UR/UG/UA), France, thibault.catry@ird.fr

ARTADJI ATTOUMANE

IRD, UMR 228 ESPACE-DEV (IRD/UM/UR/UG/UA), Station SEAS-OI, Saint-Pierre, La Réunion, France, attoumane.artadji@ird.fr

CHRISTOPHE RÉVILLION

IRD, UMR 228 ESPACE-DEV (IRD/UM/UR/UG/UA), Station SEAS-OI, Saint-Pierre, La Réunion, France, christophe.revillion@univ-reunion.fr

JÉRÉMY COMMINS

IRD, UMR 228 ESPACE-DEV (IRD/UM/UR/UG/UA), Station SEAS-OI, Saint-Pierre, La Réunion, France, jeremy.commins@ird.fr

NADINE DESSAY

IRD, UMR 228 ESPACE-DEV (IRD/UM/UR/UG/UA), France, nadine.dessay@ird.fr

MORGAN MANGEAS

IRD, UMR 228 ESPACE-DEV (IRD/UM/UR/UG/UA), France, morgan.mangeas@ird.fr

ANNELISE TRAN

Cirad, UMR TETIS, UMR ASTRE, Sainte-Clotilde, La Réunion, France, annelise.tran@cirad.fr