

SOLUÇÃO DE GEOINFORMAÇÃO PARA A VISUALIZAÇÃO E ANÁLISE DA DISPERSÃO DOS CASOS DE COVID-19 EM PERNAMBUCO ATRAVÉS DE MAPAS DINÂMICOS

Geoinformation solution for visualizing and analyzing the dispersion of COVID-19 cases in Pernambuco using Dynamic Maps

Erison Rosa de Oliveira Barros¹

erison.barros@ufpe.br

Leandro Luiz Silva de França²

geoleandro.franca@gmail.com

Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

¹Departamento de Engenharia Cartográfica

²Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação
Av. da Arquitetura, s/n - Centro de Tecnologia e Geociências, Recife - PE

Resumo:

Perante o surto de infecção pelo coronavírus SARS-CoV-2, cuja doença é denominada de COVID-19, o Departamento de Engenharia Cartográfica da Universidade Federal de Pernambuco realizou diversos estudos relacionados à representação cartográfica deste fenômeno epidemiológico nos municípios da região metropolitana de Recife e no Estado de Pernambuco. Um dos mapas produzidos por esse projeto foi o mapa dinâmico de concentração de casos de COVID-19 de Pernambuco. Inicialmente, mapas estáticos diários e semanais eram elaborados, mas, devido a necessidade de visualização rápida da dispersão espacial da doença com o decorrer do tempo, chegou-se à solução da representação através de mapas dinâmicos, onde cada *frame* representa a situação temporal do fenômeno, com o intuito de possibilitar análises espaciais e interpretações do comportamento da pandemia na região. O mapa dinâmico explorado neste trabalho consiste na junção sequenciada de mapas de concentração de Kernel considerando o número de casos de COVID-19 como atributo da camada de pontos de sedes municipais. Neste sentido, uma breve explanação sobre o Estimador de Densidade de Kernel é realizada para a identificação da concentração de casos em uma área de estudo e, em seguida, são descritos os parâmetros utilizados para a produção sistemática e consistente dos mapas de concentração de casos. Os resultados são uma representação cartográfica da expansão da doença no decorrer do tempo, cuja interpretação da dinâmica possibilita relacionar o fenômeno com características geográficas e sociais do território pernambucano, sendo um importante indicador de áreas que requerem maior atenção e ações das autoridades competentes no combate à pandemia.

Palavras-chave: Cartografia Dinâmica, Estimativa de Densidade de Kernel, Mapa de Calor, COVID-19.

Abstract

In view of the outbreak of SARS-CoV-2 coronavirus infection, whose disease is called COVID-19, the Department of Cartographic Engineering at the Federal University of Pernambuco carried out several studies related to the cartographic design of this epidemiological phenomenon in the cities of the metropolitan region of Recife and in the State of Pernambuco. One of the maps produced by this project was the dynamic COVID-19 case concentration map of Pernambuco. Initially, daily and weekly static maps were elaborated, but, due to the need for a quick visualization of the spatial dispersion of the disease over time, the solution of the representation was reached through dynamic maps, where each frame represents the temporal situation of the phenomenon, in order to enable spatial analyzes and interpretations of the pandemic's behavior in the region. The dynamic map explored in this work consists of the sequential joining of Kernel concentration maps considering the number of cases of COVID-19 as an attribute of the point layer of municipal headquarters. In this sense, a brief explanation about the Kernel method is performed to identify the concentration of cases in a study area, and then the parameters used for the systematic and consistent production of the Kernel maps are described. The results are a cartographic representation of the expansion of the disease over time, whose interpretation of the dynamics makes it possible to relate the phenomenon to the geographical and social characteristics of the Pernambuco territory, being an

important indicator of areas that require greater attention and actions by the competent authorities in the fight against pandemic.

Keywords: Dynamic Cartography, Kernel Density Estimation, Heatmap, COVID-19.

1. INTRODUÇÃO

O surto da infecção pelo coronavírus da síndrome respiratória aguda grave 2 (SARS-CoV-2), nomeada como COVID-19 (em inglês *coronavirus disease 2019*), foi inicialmente relatado em dezembro de 2019, em Wuhan, China (BRAGA & PARDINI, 2020). Essa doença surgiu associada a formas graves de pneumonia, com rápida disseminação humana. As mortes passaram a ocorrer devido a uma falência respiratória progressiva causada por danos pulmonares (COSTA, 2020), onde os casos graves necessitaram de cuidados em unidades especializadas de terapia intensiva (FARIA et. al 2020).

No Brasil, o primeiro caso foi identificado em 25 de fevereiro de 2020 na cidade de São Paulo, e o primeiro óbito em 17 de março de 2020, na mesma cidade (BRASIL, 2020). Já em Pernambuco os dois primeiros casos foram relatados em 12 de março, na cidade de Recife (COVIDecart, 2020).

A disseminação da COVID-19 teve, inicialmente, crescimento exponencial e requereram medidas de contenção do seu avanço com cuidados de higiene, maior quantidade de testagem de casos e, principalmente, o isolamento social. Para Costa (2020) todas as medidas tomadas visaram evitar a superação da capacidade dos sistemas de saúde em atender à população nas formas mais graves da doença.

Diante dessa situação, e com o intuito de aplicar o conhecimento científico para auxiliar o controle à pandemia, professores e alunos do Departamento de Engenharia Cartográfica e do Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação da Universidade Federal de Pernambuco, a partir do Projeto COVIDecart, juntaram esforços em estudos relacionados a representação cartográfica desse fenômeno epidemiológico para o Estado de Pernambuco (COVIDecart, 2020).

Deste projeto destacam-se séries de mapas que tratam da distribuição espacial da COVID-19 nos municípios de Pernambuco, do Índice de Vulnerabilidade ao COVID-19 (IVC) no estado e sua relação com casos e óbitos, e a propagação dos casos da doença no território pernambucano.

O objetivo deste trabalho é, portanto, explanar a metodologia aplicada à produção de mapas dinâmicos destinados à representação da dispersão dos casos de COVID-19 no estado de Pernambuco através da Estimativa de Densidade de Kernel, descrevendo os parâmetros utilizados e recursos de Sistema de Informações Geográficas (SIG) que garantiram a consistência e qualidade na elaboração dos mapas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo deste trabalho, considerou o Estado de Pernambuco e número de casos confirmados de COVID-19 em seus municípios.

Para a elaboração dos mapas dinâmicos, os seguintes insumos foram utilizados:

- Dados do COVID-19 disponibilizados pelo Painel Coronavírus do Ministério da Saúde ([BRASIL, 2020](#));

- Divisa do Estado Pernambuco, camada vetorial do tipo polígono, das Malhas Territoriais (IBGE, 2019); e
- Sedes Municipais obtidas da camada vetorial do tipo ponto “Localidades” (IBGE, 2010).

As etapas de importação dos dados, geração dos mapas de Kernel e confecção dos mapas foram todas realizadas em ambiente de SIG, utilizando os softwares livres QGIS 3.10 e PostgreSQL 10 com a extensão espacial PostGIS 2.5.

No que se refere aos métodos, foram inicialmente gerados mapas estáticos (mapa que retrata feições em um determinado tempo fixo) e, a partir desses mapas, rotinas em Python possibilitaram o sequenciamento temporal, caracterizando um mapa dinâmico, ou seja, um mapa que retrata as alterações de determinado fenômeno geográfico no decorrer do tempo (CDECart-UERJ, 2020).

2.1. Estimativa de Densidade de Kernel para a geração de Mapas Estáticos

O Estimador de Densidade de Kernel, popularmente conhecido como Mapa de Calor, foi adotado como técnica estatística não paramétrica e exploratória para mostrar o padrão de distribuição de pontos, gerando uma superfície de densidade com identificação visual de áreas com maior intensidade de ocorrências de eventos (BARBOSA, 2013).

Neste trabalho, os pontos das sedes municipais da base do IBGE foram relacionados aos dados do COVID-19, sendo as tabelas associadas através código do IBGE, constante univocamente nas fontes de dados.

O relacionamento dos dados do COVID-19 com a tabela de pontos das sedes municipais teve o objetivo de fazer com que o atributo número de casos da doença seja fator de ponderação (peso) para o ponto de cada município no cálculo da estimativa de Kernel.

Basicamente, a função Densidade de Kernel determina para cada célula de um Raster de saída, o somatório de uma função K (Kernel), escalonada por um raio de busca h (ou largura da banda) para os n vizinhos dessa célula (equação 1).

$$\hat{f}(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x-x_i}{h}\right) \quad (1)$$

onde:

K = função de kernel;

h = raio de busca;

x = posição do centro de cada célula do raster de saída;

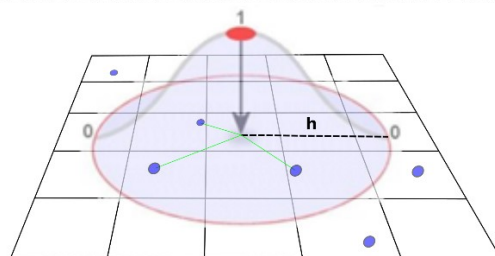
x_i = posição do ponto i ; e

n = número total de ocorrências de casos de COVID-19.

A função de Kernel K adotada foi a função Quártica (*Quartic*) (equação 2), onde o valor mais alto é obtido no ponto central do raio de busca, sendo zero para além dessa distância (Figura 1).

$$K(z) = \frac{15}{16} (1 - z^2)^2, \text{ para } |z| \leq 1 \quad (2)$$

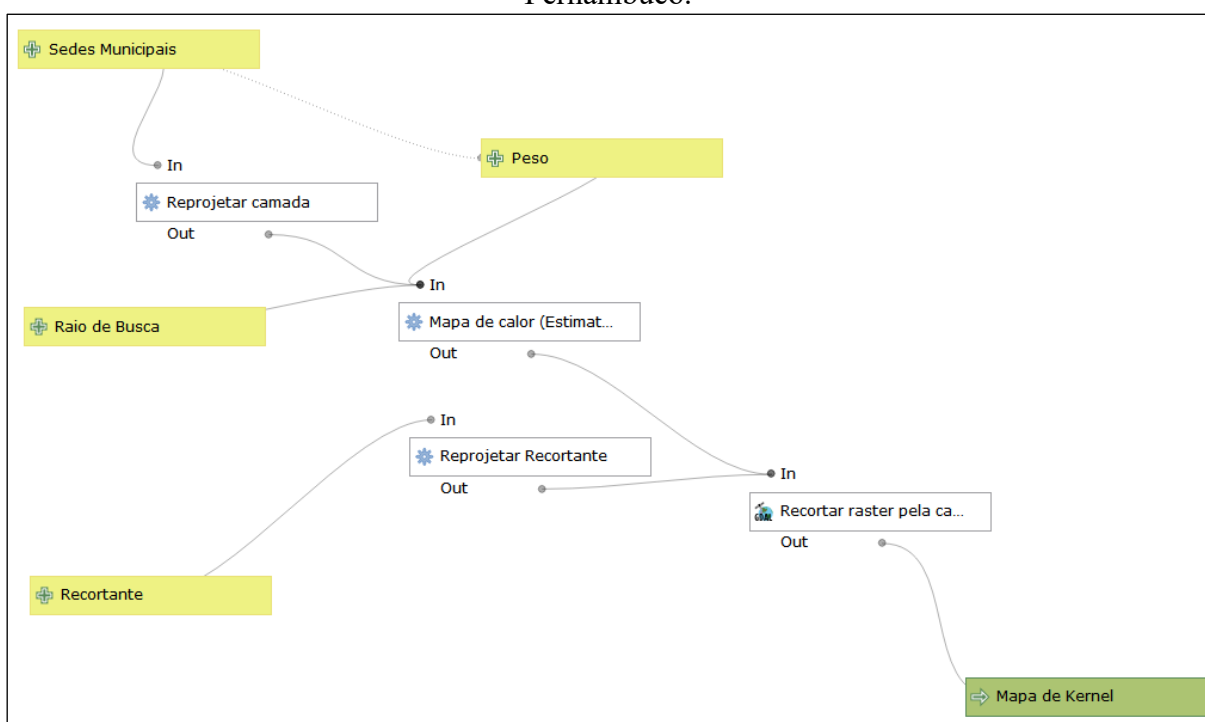
Figura 1 – Representação da Função Quártica.



Fonte: BERGAMASCHI, 2010 (adaptado)

Para a padronização dos parâmetros utilizados na ferramenta “Estimador de Densidade de Kernel (Mapa de Calor)”, bem como para o recorte do Raster de saída pelo polígono da Divisa do Estado (camada máscara), um Modelo de Processamento do QGIS foi construído, sendo seus processos visualizados na Figura 2. Um Raster com o resultado das Estimativas de Densidade de Kernel é gerado no formato *GeoTIFF* ao final do processamento e adicionado na tela do QGIS.

Figura 2 - Modelo de Processamento do QGIS para geração do Mapa de Kernel para Pernambuco.



Fonte: Autores (2020).

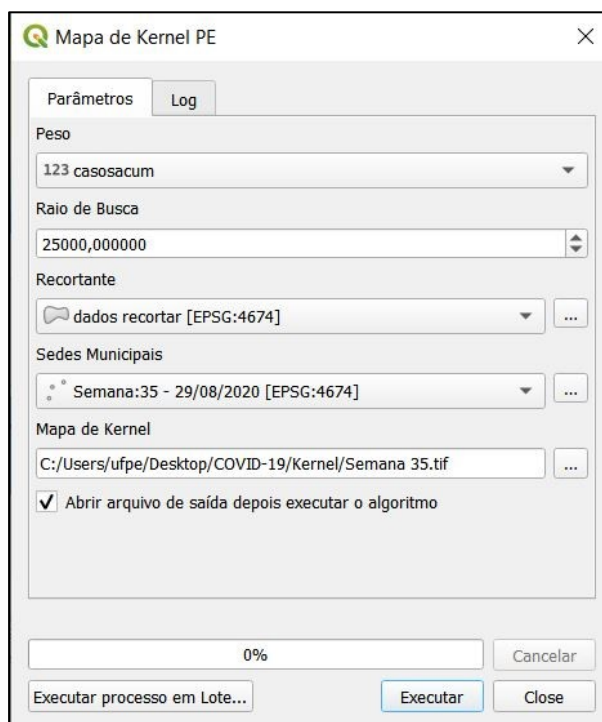
Como parâmetro de “Peso” foi utilizado o atributo com o número de “casos acumulados”, com o intuito demonstrar o crescimento da totalidade de casos e uma representação de crescimento constante.

O “Raio de Busca” utilizado foi de 25Km, sendo uma aproximação da média das distâncias entre os vizinhos mais próximos entre os pontos das sedes municipais.

A resolução (tamanho da célula) do Raster de saída adotado foi de 250 metros. Este valor foi fixado de maneira a se obter o menor tamanho do raster final, tornando o processamento mais rápido e garantindo uma quantidade de células capaz de expressar visualmente a concentração de casos acumulados de COVID-19 na escala desejada, sem transparecer efeito serrilhado, característico dos dados matriciais.

A ferramenta customizada pelo Modelador de Processamento do QGIS para a geração do mapa de Kernel dos casos de COVID-19 por semana epidemiológica em Pernambuco pode ser visualizada através da Figura 3.

Figura 3: Ferramenta customizada para geração de Mapa de Kernel de Casos em Pernambuco



Fonte: Autores (2020)

2.2. Mapa Dinâmico da Concentração de casos de COVID-19 em Pernambuco

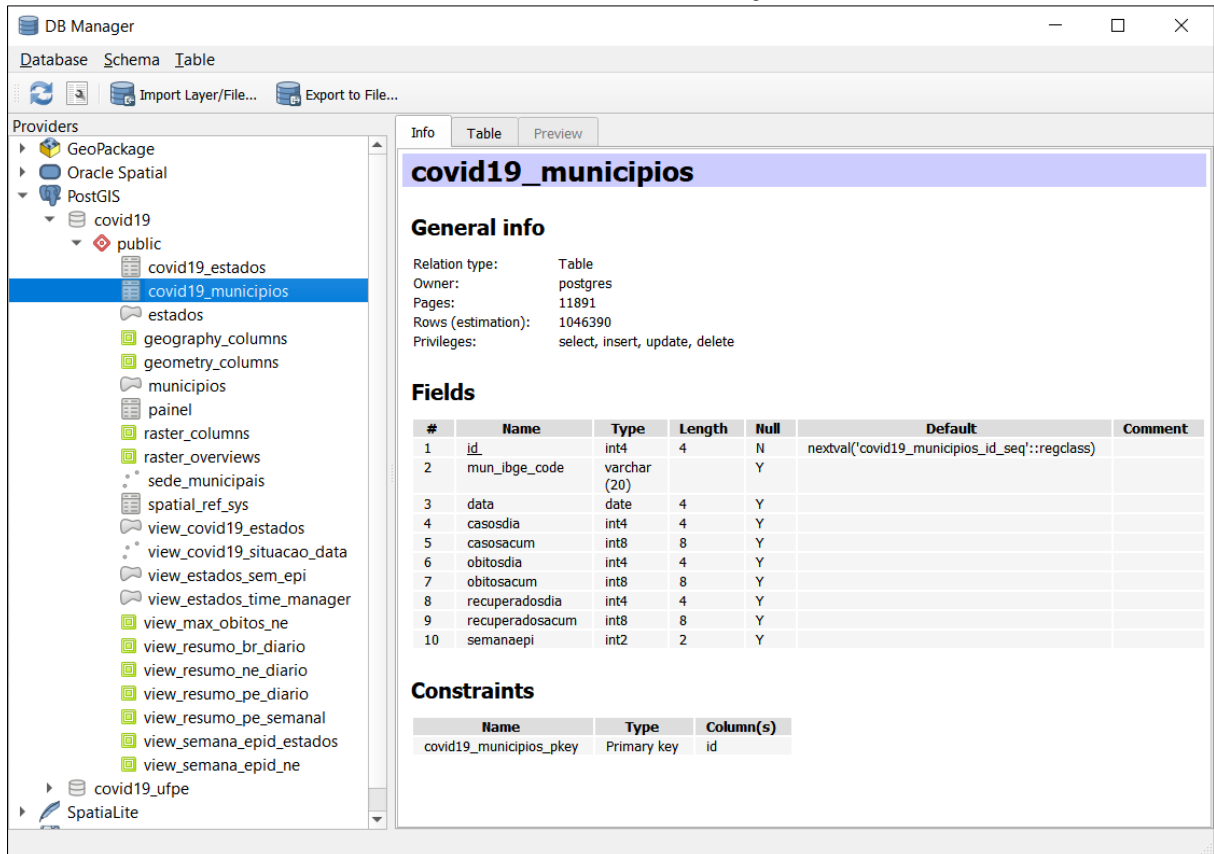
As representações dinâmicas constituem ainda hoje um grande desafio para a cartografia. A representação da evolução espaço-temporal ocorridas em um ambiente de forma sinóptica através de um único mapa possibilita que a informação seja transmitida de maneira mais compreensiva (FRANÇA, 2017).

A solução da representação das mudanças em uma região por mapas dinâmicos, portanto, têm se tornado uma alternativa viável, principalmente devido a possibilidade de publicação de mapas em meios digitais (CDECart-UERJ, 2020).

Neste trabalho, inicialmente um banco de dados *PostGIS* foi preparado para armazenar os dados diários de *COVID-19* por municípios e estados, além das classes para armazenar as geometrias dessas feições obtidas do IBGE. Para a conversão dos dados da COVID-19 disponibilizado pelo Ministério da Saúde que estão no formato *CSV* para um banco de dados

PostGIS, foi utilizado o Gerenciador de Banco de dados do QGIS, conforme visualizado na figura 4.

Figura 2 : Classes Criadas no PostGIS para armazenar os dados relacionados ao COVID-19 no Gerenciados de BD do QGIS.



Fonte: Autores (2020).

Na tabela *covid19_municipios* foi armazenando os números de casos confirmados, bem como de óbitos diários e acumulados, além da data, código do município e semana epidemiológica. Os dados do COVID-19 são unidos através da cláusula *SQL JOIN* com a tabela de pontos referentes a classe “*Sede Municipais*”, que correspondem à sede administrativa de cada município, geralmente em área urbana, sendo uma opção mais fidedigna para a geração do mapa de Kernel, quando comparada com a utilização do centroide dos polígonos da malha municipal.

Após a atualização da tabela que armazena os dados no *PostGIS*, camadas do tipo ponto são adicionadas no QGIS, filtrando-se as feições para cada semana epidemiológica através de consultas SQL. Esse procedimento foi realizado automaticamente utilizando *PyQGIS*. Para cada camada de *Pontos*, portanto, foi utilizada a ferramenta “*Estimador de Densidade de Kernel*” com o objetivo de identificar visualmente as concentrações de casos no estado de Pernambuco.

A etapa seguinte se deteve em ajustar a simbologia de todas as camadas *Raster* considerando o modo de classificação “*Quantil*”. Esse método classifica os dados de tal forma

que cada classe contém o mesmo número de feições (GARÓFALO et al., 2020), ou seja, os dados são ordenados e classificados buscando manter uma distribuição equitativa.

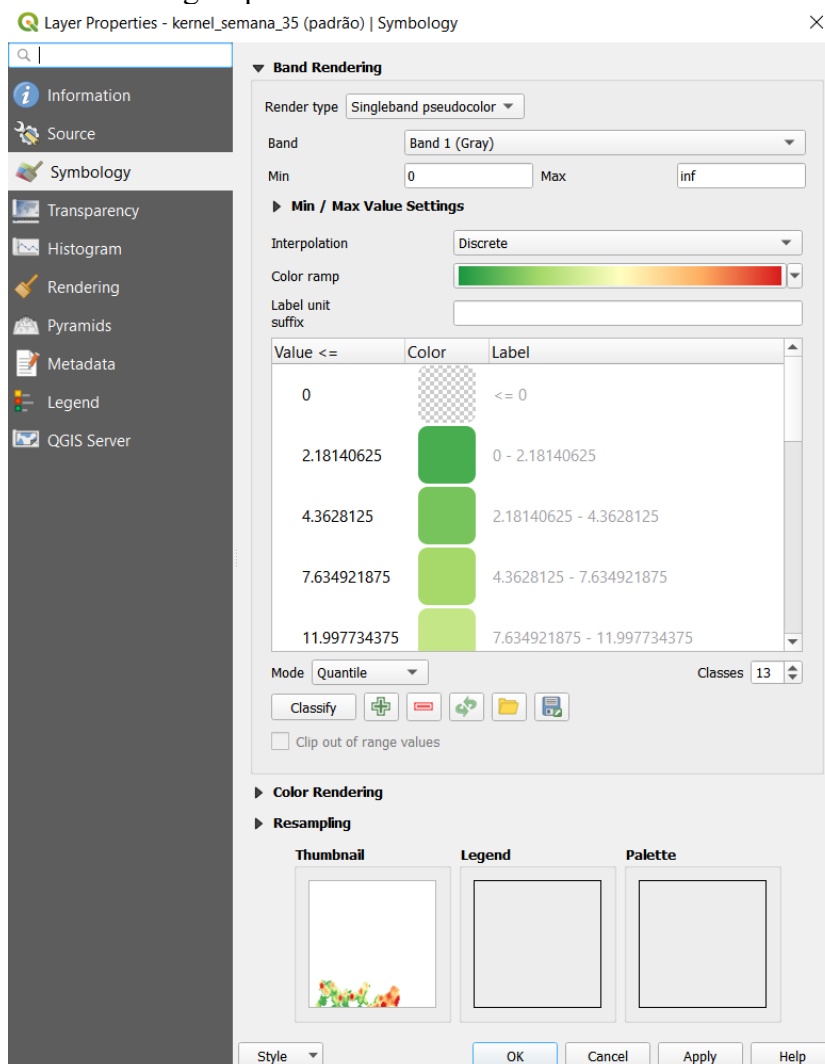
Este modo de classificação foi adotado por não se conhecer o comportamento de distribuição da estimativa calculada e, principalmente, pelo fato de realizar a equalização da distribuição dos valores das células entre as classes, permitindo uma melhor visualização dos *hotspots*, se comparado com os demais modos implementados no QGIS.

Essa simbologia deve ser aplicada na camada da semana epidemiológica mais recente, pois corresponde ao raster com maior intervalo de valores de Estimativa de Kernel calculados devido a semana epidemiológica possuir maior número de casos confirmados.

Após aplicada a simbologia na camada mais recente (ou camada de referência), essa simbologia é aplicada nas demais camadas raster, obedecendo os mesmos intervalos para classes.

No que se refere a variável visual “cor” utilizada, convencionou-se a cor verde para baixa concentração, amarela para uma concentração média e vermelha para as regiões de maior concentração de casos (figura 5).

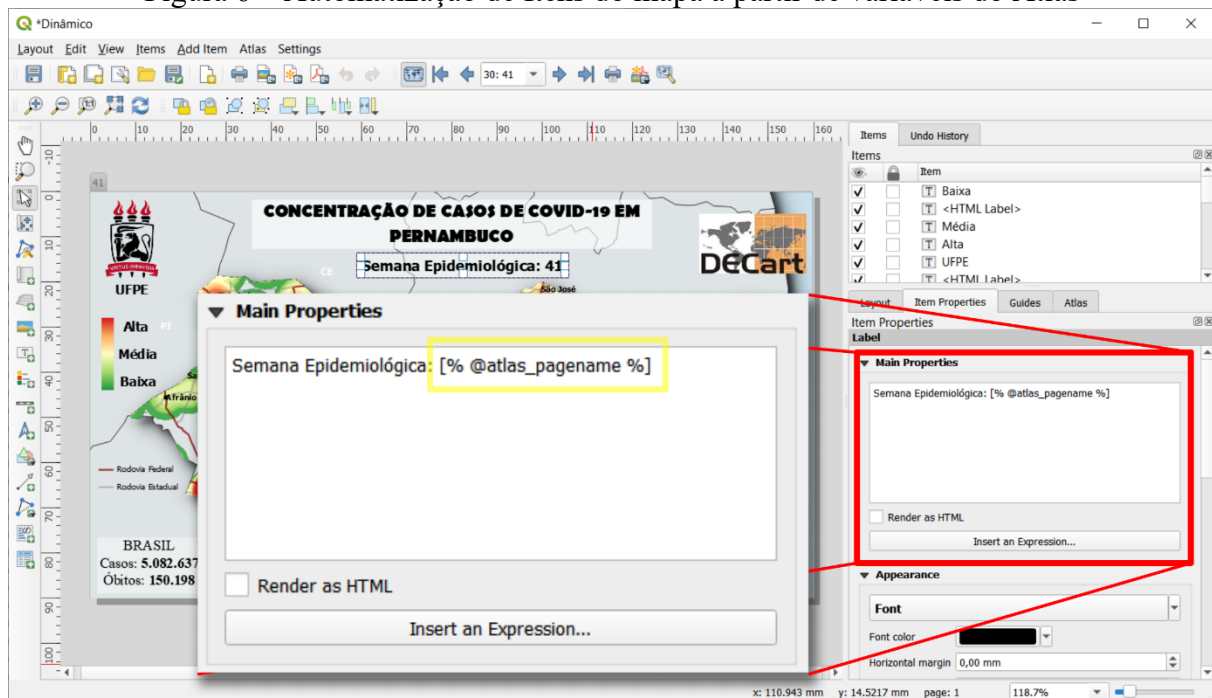
Figura 5 -Simbologia aplicada ao raster resultante do Estimador de Kernel



Fonte: Autores (2020).

Para a geração automática dos mapas de cada semana (*frames*) e posterior geração do mapa dinâmico, utilizou-se o recurso de “Atlas”, disponível no compositor de impressão (layout) do QGIS e “*Temas*” para controlar quais camadas devem estar visíveis em cada *frame*. A configuração do Atlas habilita variáveis que podem ser trabalhadas em expressões (ou funções), fazendo com que itens do mapa sejam automatizados de acordo com a data do mapa. A Figura 7 mostra um exemplo de expressão com variável “@atlas_pagename” do atlas.

Figura 6 – Automatização de Itens do mapa a partir de variáveis do Atlas



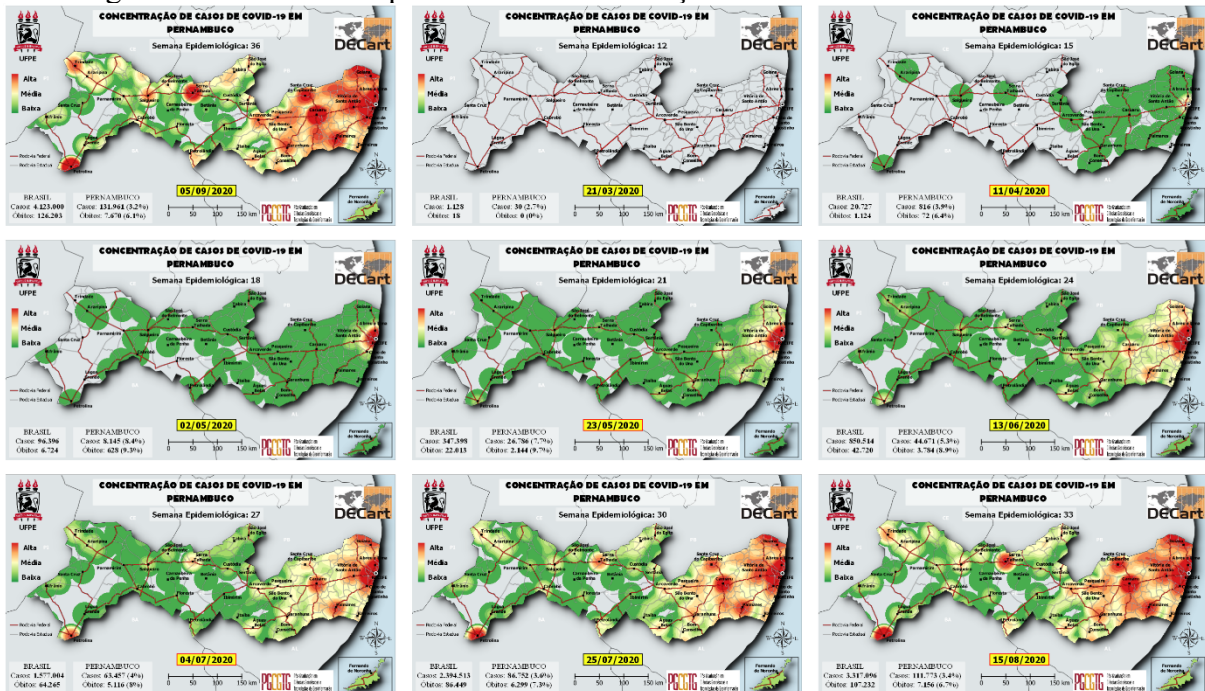
Fonte: Autores (2020).

Cada mapa estático do Atlas foi exportado como imagem, onde os nomes dos arquivos de saída seguiu uma ordem alfanumérica. Esses arquivos correspondem justamente aos *frames* de um arquivo *Graphics Interchange Format* (GIF) que possui a característica de realizar a transição contínua dos frames, justificando a denominação GIF Animado. O processo de geração do GIF também pode ser realizado diretamente no Console *Python do QGIS*, utilizando-se da biblioteca *Python Image Language* (PIL) (FRANÇA, 2020).

3. RESULTADOS

Como resultado deste trabalho, podemos verificar na Figura 8, uma sequência de mapas estáticos que compuseram os frames de um mapa dinâmico, mostrando por meio da simbologia adotada e sua variação no decorrer do tempo, o histórico da evolução e disseminação de casos de COVID-19 no estado de Pernambuco.

Figura 7: Frames do Mapa Dinâmico da Evolução do COVID-19 em Pernambuco.



Fonte: Autores (2020).

Os mapas dinâmicos da Concentração de Casos de COVID-19 em Pernambuco podem ser visualizados em qualidade original no formato GIF e MP4 através dos seguintes links:

- [Mapa dinâmico no formato GIF animado](#); e
- [Mapa dinâmico no formato MP4](#).

Diante da análise espaço-temporal da distribuição dos casos do COVID-19 pelo mundo e sua chegada em Pernambuco, fica claro que o vírus se espalhou primeiro pelas rotas aéreas entre as capitais e os principais centros urbanos, e depois pelas rodovias que interligam as cidades brasileiras e pernambucanas, como pode ser visto nos mapas dinâmicos e nos estudos internacionais e brasileiros de Costa (2020), Braga Carvalho & Pardini (2020) e Faria et. al (2020).

Além disso, vários estudos indicam que a densidade demográfica tem sido usada para justificar ou explicar o auto ou baixo potencial de contaminação. Verifica-se também que a extensão territorial de Pernambuco é de 98.146,315 km² e, conforme contagem populacional realizada em 2010 pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), totaliza-se 8.796.448 habitantes, correspondendo a aproximadamente 4,6% da população brasileira, distribuídos em 185 municípios. A densidade demográfica do estado é de 89,6 hab/km².

Cerca 80,2% da população reside em áreas urbanas e 19,8% em zonas rurais. A distribuição populacional no estado ocorre de maneira desproporcional, os centros urbanos localizados próximos ao litoral concentram um elevado percentual da população pernambucana, enquanto o sertão é pouco povoado. Isso fica visível na exploração dos mapas de casos acumulados de Kernel.

A análise da espacialização da concentração de casos de COVID-19 para o oeste do estado numa determinada escala de tempo, associado a intensidades da classe alta de casos nos municípios de maior densidade populacional, esclarecem a correlação positiva das variáveis proposta para a produção deste mapa dinâmico de Kernel, e se apresentam como uma

ferramenta estratégica para a conscientização da população e das autoridades sobre o entendimento da dinâmica atual e futura da COVID-19.

4. CONCLUSÃO

Os mapas dinâmicos trabalhados pelo COVIDecart têm auxiliado nas análises de variações das distribuições espaciais de incidência de casos de COVID-19 no estado de Pernambuco. A distribuição destes casos mesmo agregadas a camada sede municipal, ajuda investigar e sugerir hipóteses de não casualidades.

Através dos resultados, foi possível compreender a dinâmica espaço-temporal da concentração de casos e comprovar a relação da propagação da doença através das principais rodovias do Estado, assim como, identificar a sua trajetória e direção oeste (litoral para interior), ou seja, de regiões de maior densidade populacional para regiões menos densas.

Estudos mais aprofundados de aplicação da metodologia apresentada neste trabalho são necessários, principalmente, pela possibilidade de as autoridades competentes obterem informações fundamentais para a compreensão e previsão da pandemia, buscando entender a correlação social e econômica, assim como, avaliar o impacto das ações e políticas públicas do combate ao COVID-19 no Estado.

O processo dinâmico de integração de dados e construção de mapas, estabelece uma síntese de instrumentos ricos para saúde pública, seja na localização dos eventos no tempo e no espaço, no monitoramento e controle de determinado evento da saúde, na identificação de áreas geográficas e grupos de população com maiores necessidades, na avaliação do impacto das intervenções de saúde ou na estimativa de áreas de risco entre a população (NETO et al., 2014).

5. AGRADECIMENTO

Os autores agradecem à toda a equipe do projeto COVIDecart-UFPE e à PROPESQI-UFPE, pelo financiamento do projeto COVIDecart-UFPE, no âmbito do Edital 06/2020 – Edital Emergencial de Credenciamento e Fomento de Projetos, Visando Ações para o Diagnóstico e Prevenção da COVID-19.

Referências Bibliográficas

BARBOSA, N. F. M. **Kernel smoothing dos dados de chuva no Nordeste**. 2013. 50 p. Dissertação (Mestrado em Biometria e Estatística). Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRP). Recife, 2013.

BERGAMASCHI, R. B. **SIG aplicado a segurança no trânsito – estudo de caso no município de Vitória** – ES. 74 f. (Monografia de Graduação). Universidade Federal do Espírito Santo: Vitória, 2010.

BRAGA CARVALHO, P. F.; PARDINI, H. **Análise da Distribuição Espacial da COVID-19 em Minas Gerais**. Metodologias e Aprendizado , v. 3, p. 159 - 166, 11 jul. 2020.

BRASIL. Ministério da Saúde. Painel Coronavírus, 2020. Disponível em <<https://covid.saude.gov.br/>>. Acesso em 27 abr. 2020.

CDECart – UERJ. **Projeto COVIDecart**, Youtube, 20 ago. 2020. Disponível em <<https://www.youtube.com/watch?v=16EpV6yIVHI>>. Acesso em: 01 out. 20.

COSTA, E. M.; COSTA, N. M A pandemia COVID-19 em Portugal continental – uma análise geográfica da evolução verificada nos meses de março e abril. Hygeia - **Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde**, p. 72 - 79, 17 jun. 2020.

FARIA, R. M. DE; ERTHAL, D. B.; COSTA, I. T.; RIZZATTI, M.; SPODE, P. L. C. **Difusão da COVID-19 nas grandes estruturas territoriais do estado do Rio Grande do Sul, Brasil**. Hygeia - Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde, p. 426 - 435, 25 jun. 2020.

FRANÇA, L. L. S.; SILVA, L. F. C. F.; SILVA, W. B. Mapping of the spatial-temporal change for vegetation canopy in rough relief areas. **R. bras. Geom.**, Curitiba, v. 5, n. 3, p. 343-360, jul/set. 2017.

FRANÇA, L. **Mapa Dinâmico com imagens de Satélites no QGIS**. Youtube, 08 ago. 2020. Disponível em <<https://www.youtube.com/watch?v=YKZ7fvhOmiU&t=35s>>. Acesso em: 01 out. 20.

GARÓFALO, D.F.T; FERREIRA, M.F.M.; MESSIAS, C.G. – **Mapeamento da densidade do processo erosivo e de movimentos de massa, a partir de imagens Google Earth Georreferenciadas, utilizando o estimado de Kernel: uma aplicação na APA Fernão Dias (MG)**. Anais do IX Simpósio Nacional de Geomorfologia, Rio de Janeiro, 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Malhas Territoriais**, Rio de Janeiro: IBGE, 2019. Disponível em <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html?=&t=downloads>>. Acesso em: 01 out. 20.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Localidades**, Rio de Janeiro: IBGE, 2010. Disponível em <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/27385-localidades.html?=&t=downloads>>. Acesso em: 01 out. 20.

NETO, Virgilio Cavicchioli et al. Desenvolvimento e integração de mapas dinâmicos georreferenciados para o gerenciamento e vigilância em saúde. **Journal of health informatics**, v. 6, n. 1, 2014.